

Universidad Pública de Navarra

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
SUPERFICIAL DE AGUA EN UN SUELO SOMETIDO A DIFERENTES
LABORES AGRICOLAS**

Presentado por

IRANTZU MEZKIRITZ BARBERENA

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Pamplona, Febrero 2012

Iruña, 2012ko otsaila

Rafael Giménez, profesor del Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural de la Universidad Pública de Navarra,

CERTIFICA

Que el Trabajo Final de Carrera titulado “Determinación de la capacidad de almacenamiento superficial de agua en un suelo sometido a diferentes labores agrícolas” que presenta el alumno Irantzu Mezkititz Barberena, ha sido realizado en este Departamento bajo mi dirección,

Y AUTORIZO su presentación al objeto de optar al título de Ingeniero Técnico Agrícola en Explotaciones Agropecuarias.

En Pamplona, a 3 de Febrero de 2012

Fdo: Irantzu Mezkititz Barberena

Fdo: Rafael Giménez

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que me han ayudado a sacar este trabajo adelante. En especial, a mi tutor Rafael Giménez porque sin su ayuda esto no podría ser posible, así como a Javier Díez y Álvaro Ollo por el apoyo mostrado en el trabajo en campo. Y por último, a toda la gente del Departamento por haberme ayudado a solventar distintas dudas que han ido surgiendo.

Por otro lado, agradezco a todos los familiares y amigos que me han apoyado durante este periodo.

Irantzu Mezkititz

Resumen

Se entiende por almacenamiento superficial (AS) de agua en el suelo a la máxima cantidad de agua retenida de forma instantánea sobre la superficie del suelo, a una determinada pendiente del terreno. El agua así inmovilizada dispone de más tiempo para poder infiltrarse, viéndose así reducido el riesgo de erosión por escorrentía e incrementado el contenido de agua en el suelo. Por tanto, el AS es un importante aspecto a considerar en estudios hidrológicos. Sin embargo, su medición es muy dificultosa. De ahí que suele recurrirse al uso de modelos predictivos, asumiéndose un cierto grado de error.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la capacidad de almacenamiento superficial de agua en un suelo sometido a 3 tipos diferentes de laboreo. Y, en forma complementaria, evaluar el desempeño de algunos de los modelos predictivos más conocidos.

El estudio se llevó a cabo en campo, en microparcels (1 m²). Se midió el AS en un suelo en pendiente (10-15%) sometido a 3 tipos de labores (vertedera-molón, chisel-gradilla y rotavator), tanto a favor como en contra de la pendiente principal del terreno. Para ello, la superficie de cada microparcels fue impermeabilizada siguiendo una técnica propia. El AS se determinó vertiendo un volumen conocido de agua sobre la superficie y midiendo el remanente que abandonaba la parcela. Se obtuvieron imágenes de la superficie de cada parcela para analizar los patrones de almacenaje. Además, se realizaron mediciones de infiltración antes y después del laboreo.

Estas mediciones sirvieron como referencia para la evaluación de cuatro modelos empíricos y un método numérico concebidos para la estimación del almacenamiento superficial de agua. Para esto, se obtuvieron perfiles longitudinales de altitud del terreno mediante un perfilómetro laser de alta precisión. Dichos perfiles sirvieron tanto para la determinación de los diferentes índices de rugosidad (variables explicativas de los modelos), como para la aplicación del mencionado método numérico.

El tipo de laboreo del suelo y la dirección del mismo con respecto a la pendiente general del terreno condicionan marcadamente el AS. El mayor almacenamiento se daría en superficies con macro-formas cortando la pendiente principal.

Los modelos empíricos de estimación de AS tuvieron un pobre desempeño. Esta baja eficacia predictiva se debe a que los índices de rugosidad no reflejaron adecuadamente la complejidad de la rugosidad superficial. Por su parte, el método numérico bidimensional analizado fue igualmente poco efectivo, a pesar de su base física. Es así que una representación 2D de las depresiones del terreno no resulta del todo representativa de la superficie del mismo.

El laboreo del suelo afectó tanto el AS como a su capacidad de transmisión de agua. Por

tanto, un adecuado manejo del suelo debería contemplar no sólo su capacidad instantánea de almacenaje superficial de agua, sino también el tiempo de permanencia de la misma sobre dicha superficie.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS..... | 1 |
| 2.- MATERIALES Y MÉTODOS | |
| 2.1.- Sitio experimental y definición de tratamientos..... | 3 |
| 2.2.- Protocolo de experimentación..... | 6 |
| 2.3.- Índices de rugosidad y modelos de simulación de almacenamiento superficial..... | 7 |
| 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN | |
| 3.1.- Evaluación de la técnica de impermeabilización utilizada: posible alteración de la rugosidad original de la superficie del suelo..... | 9 |
| 3.2.- Mediciones de almacenamiento superficial de agua en los diferentes tratamientos..... | 9 |
| 3.3.- Evaluación de los modelos de rugosidad..... | 12 |
| 3.4.- Efecto del laboreo en la tasa de infiltración..... | 18 |
| 4.- CONCLUSIONES..... | 20 |
| 5.- BIBLIOGRAFÍA..... | 21 |
| 6.- ANEXOS | |
| 6.1.- Valores de los índices de rugosidad..... | 23 |
| 6.2.- Perfiles longitudinales de altura..... | 25 |
| 6.2.- Patrones de almacenajes: imágenes binarias..... | 27 |

Introducción y objetivos

La erosión del suelo es un problema agrícola y ambiental ya que, debido a este fenómeno, parte del suelo fértil se pierde por escorrentía junto a nutrientes y pesticidas. Para poder determinar las causas de la erosión es esencial conocer en detalle todos los procesos involucrados en este fenómeno.

La escorrentía por flujo no concentrado, en su discurrir por la superficie del suelo, es parcial y temporalmente retenida en las pequeñas depresiones del terreno. El agua -así inmovilizada- tiene más tiempo para infiltrarse, reduciéndose por tanto el riesgo de erosión por escorrentía; favoreciéndose, asimismo, el almacenamiento de humedad en el perfil del suelo. Además, este almacenamiento superficial de agua puede ser determinante en la respuesta de la capa freática a las precipitaciones y en la duración y magnitud de los flujos superficiales (Gaile and Skaggs, 1978). Entenderemos como almacenamiento superficial de agua (AS) a la máxima cantidad de agua retenida instantáneamente sobre la superficie del suelo, a una pendiente determinada.

En suelos inalterados, el AS está determinado por la rugosidad propia del suelo; debida esta última mayormente a las características de sus agregados. Sin embargo, en suelos labrados, dicha rugosidad estaría principalmente afectada por la alteración del relieve generada por los distintos aperos de labranza.

Es así que el AS se tiene en cuenta en diversos modelos de erosión como LISEM (De Roo et al., 1996) o EUROSEM (Morgan et al., 1993). La estimación de AS se basa, generalmente, en relaciones empíricas entre dicho almacenamiento e índices de rugosidad. Entre estos últimos, los más utilizados son la rugosidad aleatoria (RR, random roughness) (Allmaras et al., 1966); diferencia límite, LD y pendiente límite, LS (Linden y Van Doren, 1986); tortuosidad, T (Boiffin, 1984); y el índice MUD (Mean upslope depression) (Hansen et al., 1999). Suelen utilizarse, además, métodos numéricos de estimación de AS. Así, a partir de mediciones de altura de la superficie del suelo se crean modelos digitales de elevación (MDE) en 2 o 3 dimensiones. Luego, el MDE es ‘virtualmente’ llenado con agua mediante el uso de un determinado algoritmo (por. ej., Planchon and Darboux, 1999; Álvarez-Mozos et al., 2011): se ubican las depresiones y se calcula su volumen/área hasta su punto de vertido.

En realidad, se recurre a la estimación del AS –aceptando un cierto error– ya que su medición directa es complicada, laboriosa y costosa. Esto es así ya que el suelo es (muy) permeable, con lo cual una medición directa de AS –vertiendo agua sobre su superficie– no es posible sin un previo tratamiento impermeabilizante del suelo; pero sin alterar su rugosidad natural. La impermeabilización se puede conseguir mediante la impregnación del suelo con una resina o película plástica (Gayle and Skaggs, 1978) o a través de la reproducción de la superficie del suelo usando un material impermeable (Kamphorst and Duval, 2001).

El objetivo principal de este trabajo es determinar la capacidad de almacenamiento superficial de agua de un suelo sometido a 3 tipos diferentes de laboreo. Y, en forma complementaria, evaluar el desempeño de algunos de los modelos predictivos más conocidos.

El estudio se llevó a cabo en campo, en microparcels de experimentación (aproximadamente 1 m²). Se midió el AS en un suelo en pendiente sometido a 3 tipos de labores (vertedera-molón, chisel-gradilla y rotavator), en dos sentidos diferentes de labor (a favor y en contra de la pendiente principal del terreno) (Figura 1). Asimismo, y tomando como datos de referencias los obtenidos a través de esta experimentación, se evaluaron 4 conocidos modelos empíricos y un método numérico concebidos para la estimación del almacenamiento superficial de agua. Para esto, se obtuvieron perfiles longitudinales de altitud del terreno mediante un perfilómetro laser de alta precisión. Estos perfiles sirvieron tanto para la determinación de los diferentes índices de rugosidad (variables explicativas de los modelos), como para la aplicación del mencionado método numérico.



Figura 1. Acondicionamiento del sitio experimental en el campo de la ETSIA.

Materiales y métodos

Sitio experimental y definición de tratamientos

La experimentación se llevo a cabo en la finca de prácticas de la ETSIA que se encuentra en el Campus de Arrosadía de la UPNA. Como zona de ensayo, se optó por una ladera –600 m²– más o menos homogénea, de una pendiente aproximada entre 10-15%.

Antes de comenzar con la experimentación se midió, en 5 puntos de esta ladera, la velocidad de infiltración del suelo inalterado. El infiltrómetro de doble anillo (Porta et al., 2003) (Figura 2) fue el método elegido. Éste determina la velocidad con la que el suelo absorbe el agua en un periodo de tiempo determinado. Consta de dos cilindros concéntricos –el exterior, de guarda y el interior, de medida– que se clavan en el suelo a una profundidad suficiente como para evitar que escape el agua lateralmente, pero evitando alterar demasiado el suelo durante la operación. Dentro de éstos se coloca una lámina de agua, que se mantiene a nivel constante. Con una regla graduada que se coloca dentro del cilindro más pequeño, se mide las variaciones de la lámina de agua en el tiempo. Los registros se continúan hasta que se alcanza una tasa de variación constante (infiltración básica).



Figura 2. *Infiltrómetro de doble anillo durante una prueba de infiltración.*

Dentro de la ladera se definieron 6 tratamientos (Tabla 1), resultantes de la combinación de tres tipos de labores (convencionales en Navarra) –Vertedera seguida de Molón (VM); Rotavator (R); y Chisel-Gradilla (C) (Figura 3) – en 2 sentidos diferentes, a favor y en contra de la pendiente principal de terreno. El laboreo se llevó a cabo entre los días 6 y 8 de Febrero de 2011, y la toma de datos se alargó hasta finales de Noviembre de 2011.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

| TRATAMIENTO | DESCRIPCIÓN | OBSERVACIONES |
|-------------|---|--|
| VMF | Vertedera seguida de molón (rodillo) siguiendo la pendiente principal | Arado de vertedera monosurco; profundidad de trabajo de 20-22 cm. Rendimiento de trabajo: 4,80 ha/h. Anchura de corte de 38 cm. Rendimiento del molón de 0,67 ha/h. |
| VMC | Vertedera seguida de molón (rodillo) cortando la pendiente principal | |
| RF | Rotavator siguiendo la pendiente principal | El rotavator (Fresadora grande): profundidad de trabajo de 10-12 cm. Rendimiento de trabajo: 1,96 ha/h. Separación entre cuchillas: 30 cm. |
| RC | Rotavator cortando la pendiente principal | |
| CF | Chisel seguido de gradilla siguiendo la pendiente principal | Profundidad de trabajo del chisel: 35 cm. Rendimiento de trabajo: 0,66 ha/h. Anchura entre brazos: 30 cm. Profundidad de trabajo de gradilla: 15 cm. Rendimiento de 0,63 ha/h. |
| CC | Chisel seguido de gradilla cortando la pendiente principal | |

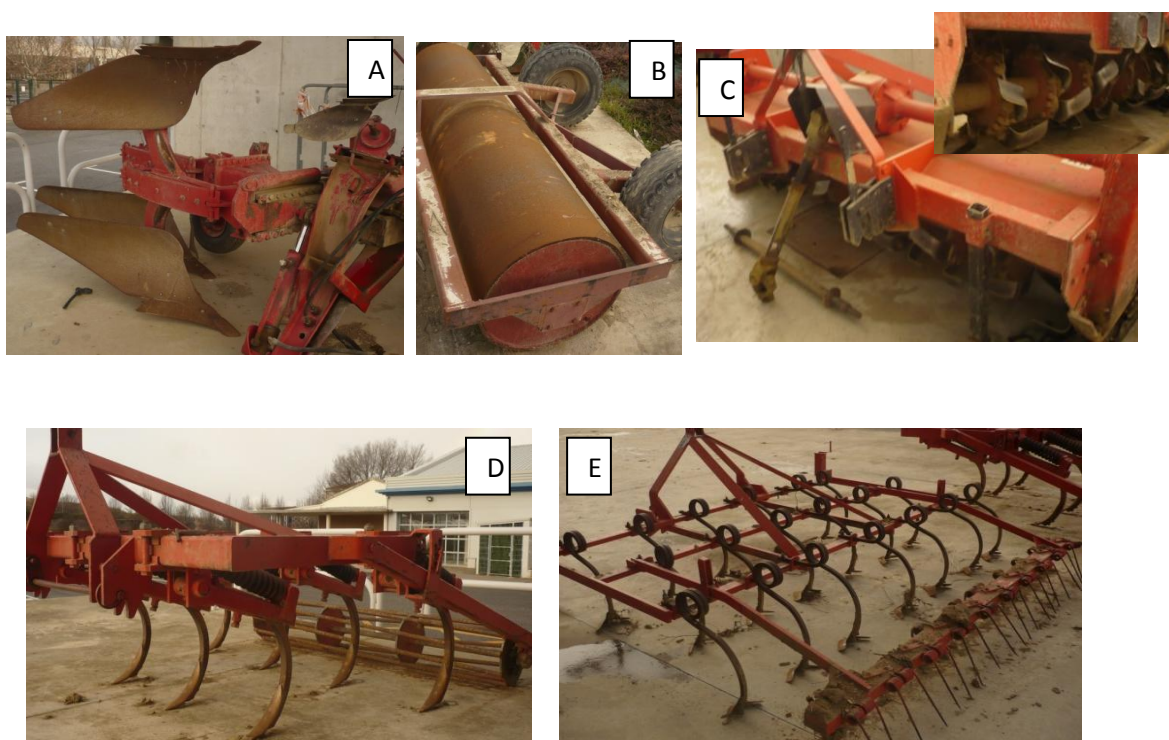


Figura 3. Aperos utilizados en la experimentación. A, vertedera; B, molón; C, rotavator; D, chisel; y E, gradilla.

En cada uno de los 6 tratamientos se demarcaron 2 microparcels más o menos cuadradas ($0,8-1\text{m}^2$) (Tabla 1). Las 12 microparcels fueron tratadas por igual de la forma que se describe a continuación.

Primero se demarcó el perímetro de la microparcela. Para ello se insertaron en el suelo 3 láminas de acero inoxidable de 80-100 cm de longitud, de unos 12 cm de altura (10 cm sobre la superficie) y de unos pocos milímetros de grosor. El cuarto límite lo constituía una canaleta colectora montada en la zona más baja de la microparcela (Figura 4).



Figura 4. Microparcela (1m²) de experimentación previa al tratamiento impermeabilizante.

Una vez montada la microparcela, se procedió a impermeabilizarla. Se comenzó aplicando al suelo varias capas de cola para madera diluida en agua (Figura 5) con el fin de endurecer el suelo y de sellar los pequeños poros de éste. Teniendo el suelo duro, se aplicaron cuidadosamente varias capas de pintura impermeabilizante –a mano, con pinceles-, siempre, respetando la rugosidad característica da cada labor y evitando alterar las depresiones debidas a la microrugosidad (Figura 6). Antes de proceder con el ensayo se comprobó, a través de aplicaciones localizadas de agua, que posibles zonas críticas estuviesen bien impermeabilizadas.



Figura 5. Aplicación mediante nebulizador de la cola diluida en agua.



Figura 6. Aplicación de las primeras capas de pintura.

Por otro lado, en cada tratamiento y con ayuda de un perfilómetro láser (Álvarez-Mozos, 2006; Giménez et al., 2009), se hicieron cinco lecturas longitudinales de altura, siempre en sentido de la pendiente principal del terreno. Estas lecturas servirían para calcular los diferentes índices de rugosidad que servirían, a su vez, para aplicar los modelos de estimación de AS (ver abajo).

Se realizaron nuevas mediciones de infiltración –similares a las anteriores–, pero esta vez discriminadas según tipo de labor (VM, R y C); dos repeticiones en cada caso. Se pretendía ver si la tasa de infiltración variaba una vez que el suelo se encontrara labrado.

Protocolo de experimentación

En cada una de las 12 microparcels se llevó a cabo la experimentación que a continuación se detalla.

Se preparó un volumen conocido de agua en diferentes bidones, a los que se les añadió una pequeña cantidad de azul de metileno.

Con la ayuda de un pequeño recipiente graduado, se vertió el agua teñida sobre la parcela, suavemente y con movimientos oscilantes; primero a lo largo del borde superior, para ir bajando paulatinamente hasta cubrir toda la superficie de una forma homogénea. Se aplicó agua hasta verificar que la superficie alcanzaba su máxima capacidad de almacenaje. Así, por diferencia del agua entrante y del agua recogida en el recipiente colector, se obtuvo el volumen de agua almacenada en superficie. Toda la operación se repitió de tres a cuatro veces –siempre una vez seca la superficie de la microparcels – con el fin de lograr un dato certero. El azul de metileno, al colorear el agua, permitiría analizar por un lado los ‘camino’ por los que discurre el agua y por otro, estimar el patrón espacial de distribución de almacenamiento de agua en superficie (ver abajo).

Toda la experimentación fue grabada en video para futuros estudios concernientes a la dinámica y conectividad de los flujos de agua.

Inmediatamente, y con la ayuda de un limnómetro, se midió la lámina acumulada en 5 o 6 puntos que pudieran resultar representativos del patrón de almacenamiento. Las mediciones se realizaron lejos de los bordes de la parcela, para evitar posibles sobreestimaciones en la lectura.

Por último, y después de colocar, a nivel, un marco graduado alrededor de la parcela, se sacaron fotos de la superficie (Figura 7). Las imágenes serían luego rectificadas (ERMapper) tomando como control el marco graduado. Posteriormente, las imágenes serían procesadas (ARCmap) con el fin de obtener imágenes binarias, definiéndose así las áreas cubiertas por agua (zonas de almacenamiento de agua) de aquellas sin cubrir.



Figura 7. Ejemplo de microparcela (CC) al final de la experimentación. Se observan las zonas de almacenamiento (azul) y el marco graduado usado como referencia para el procesamiento de las imágenes (ver texto).

Índices de rugosidad y modelos de simulación de AS

Los índices de rugosidad evaluados fueron la Rugosidad aleatoria (RR), Diferencia límite (LD) y pendiente límite (LS), Índice de tortuosidad y *Mean Upslope Depression* (MUD). Los mismos se definen a continuación.

Rugosidad aleatoria RR (Allmaras *et al.*, 1966 y Currence y Lovely, 1970), es la desviación estándar de los datos de altura

$$RR = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z)^2}{n} \right)} \quad (1)$$

Donde: z_i = altura en cada punto.

z = media de las alturas.

n = número de puntos.

Diferencia límite (LD) y pendiente límite (LS) (Linden y Van Doren, 1986). Estos dos índices se basan en el cálculo del semivariograma de primer orden de los datos de altura

$$\Delta Z_h = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_i - Z_{i+h}|}{n} \quad (2)$$

Donde: Z_i = altura en cada punto.

Z_{i+h} = altura en un punto situado a una distancia h de Z_i .

n = número de datos.

El semivariograma de primer orden es el gráfico de ΔZ_h en función de h ; puede ser aproximado por un modelo lineal, definido por:

$$1/\Delta Zh = a + b (1/h) \quad (3)$$

Donde a y b son parámetro que se calculan mediante análisis de regresión. A partir de ellos se definen los índices diferencia límite, LD y pendiente límite, LS como

$$LD = 1/a \text{ y } LS = 1/b \quad (4)$$

LD proporciona información sobre las características de la microrugosidad a grandes distancias. Por su parte LS se usa para caracterizar la rugosidad a distancias cortas. Estos índices proporcionan la información sobre la organización espacial de la microrugosidad, poseen sentido físico y buena sensibilidad a variaciones en la rugosidad.

El Índice de Tortuosidad, T (Boiffin, 1984), se define como:

$$T = L_1 / L_0 \quad (5)$$

Donde: L_1 = longitud del perfil

L_0 = longitud de la proyección horizontal del perfil.

Otro de los índices utilizados es el MUD (Hansen *et al.*, 1999). Se define como:

$$MUD = \frac{1}{m} \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta Z}{(n-1)} \quad (6)$$

Donde: $\Delta Z = Z_0 - Z_i$ para $Z_i < Z_0$; $\Delta Z = 0$ para $Z_i = Z_0$

Z_i = altura de un subsegmento.

Z_0 = punto de referencia en un subsegmento.

m = número de subsegmentos por perfil.

n = número de alturas por subsegmento.

Cada índice será luego la variable explicativa de sendos modelos empíricos de estimación de AS (Tabla 2). Los perfiles longitudinales de altura sirvieron, asimismo, para evaluar el modelo numérico propuesto por Álvarez-Mozos (2011).

Tabla 2. Modelos de rugosidad evaluados.

| Modelo | Descripción* | REFERENCIA |
|--------------------|--|----------------------|
| M _{RR} | $0,112RR + 0,031RR^2 - 0,012RR \times S_t$ | Onstad (1984) |
| M _T | $\text{Exp}[-6,66 + 0,27(T_A)]$ | Morgan et al. (1998) |
| M _{LS-LD} | $0,382\sqrt{LD \times LS} + 0,017(\sqrt{LD \times LS})S - 0,077$ | Linden et al. (1988) |
| M _{MUD} | $0,480 \times MUD$ | Hansen et al. (1999) |

*RR: random roughness; S: pendiente; T_A : índice tortuosidad; LD: diferencia límite; LS: pendiente límite; y MUD: Mean Upslope Depression.

Resultados y discusión

Evaluación de la técnica de impermeabilización utilizada: posible alteración de la rugosidad original de la superficie del suelo.

En tres microparcels (VMF1, RC1 y RC2) los perfiles longitudinales de altura se prolongaron más allá –aproximadamente 100 cm– de la zona impermeabilizada (con cobertura de cola y pintura), sobre suelo también laboreado pero sin tratar (suelo desnudo). Estas 3 situaciones se utilizaron para investigar posibles cambios en la rugosidad superficial debidos a alteraciones ocasionadas por la aplicación de las capas de cola y pintura. Se temía, sobre todo, que ciertas depresiones del terreno hubieran sido parcialmente rellenadas por una excesiva cantidad de pintura, alterándose así el volumen interno de estas depresiones y, por tanto, su capacidad de almacenar agua. Este hecho se vería reflejado al contrastar cada par de perfiles longitudinales de alturas (suelo tratado vs. suelo no tratado) en cada una de las 3 situaciones seleccionadas (VMF1, RC1 y RC2). Para ello, de cada perfil horizontal (corregido por pendiente) se obtuvo la mediana de los valores de altura - es decir, de los valores de z - y luego se hizo la diferencia de ésta con cada uno de los valores de altura a lo largo del perfil -eje x -; obteniéndose así una población de datos normalizados. En las 3 situaciones mencionadas, se realizaron sendos análisis de varianza (ANOVA) contrastando las diferencias de alturas entre las situaciones de suelo no tratado y suelo tratado. En ningún caso se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dando por válida la técnica impermeabilización utilizada. Por tanto, la aplicación de cola/pintura no habría alterado, de manera importante, la microrugosidad del suelo.

Mediciones de almacenamiento superficial en los diferentes tratamientos

Si bien todas las microparcels se ubican sobre una ladera homogénea, no todas estas presentaban la misma pendiente (Tabla 3). Aunque estas diferencias en pendientes no son grandes (entre 10% y 15%), tenían que ser consideradas ya que se sabe que el AS es muy sensible a cambios en la inclinación del terreno (por ej., Onstad, 1984; Linden et al., 1988; Álvarez-Mozos et al., 2011). Es así que, los valores experimentales de AS fueron recalculados considerando una pendiente única de 10% (Tabla 3). Para ello, se usó la expresión propuesta por Álvarez-Mozos et al. (2011) donde se relaciona el máximo almacenamiento (MDS) con la pendiente (S) (ec.7)

Tabla 3. Valores de almacenamiento superficial. Se indican tanto los valores experimentales obtenidos con las pendientes reales del terreno como los estimados (Álvarez-Mozos et al., 2011) a diferentes grados de inclinación.

| TRATAMIENTOS | AS PROMEDIO (mm) | PENDIENTE real | AS ajustado (10%) | AS estimados a diferentes pendientes | | | | | |
|--------------|------------------------|-------------------|-------------------------|---|-------|-------|-------|------|------|
| | | | | 0% | 5% | 15% | 20% | 30% | 40% |
| VMF | 4,435 | 0,095 | 4,44 | 7,72 | 5,81 | 3,46 | 2,79 | 2,00 | 1,60 |
| RF | 6,74 | 0,105 | 6,74 | 11,73 | 8,83 | 5,26 | 4,25 | 3,03 | 2,43 |
| CF | 3,225 | 0,101 | 3,23 | 5,61 | 4,22 | 2,52 | 2,03 | 1,45 | 1,16 |
| VMC | 2,02 | 0,128 | 2,30 | 4,01 | 3,02 | 1,80 | 1,45 | 1,04 | 0,83 |
| RC | 13,56 | 0,154 | 16,54 | 28,77 | 21,66 | 13,56 | 10,42 | 7,44 | 5,95 |
| CC | 8,75 | 0,137 | 10,32 | 17,96 | 13,52 | 8,05 | 6,50 | 4,64 | 3,71 |

$$MDS = 3,67 + 24,1 e^{(-0,08 S)} \quad (7)$$

A través de la ecuación (7) se estimó, entonces, el cambio porcentual que sufriría un dado valor de AS cuando se transita de una pendiente a otra diferente (por ej. de 13% a 10%). Cabe destacar que, si bien (7) es una ecuación del tipo exponencial, los cambios de AS entre pendientes del 10% y 15% (valores reales), son pequeños.

Es así que se observan marcadas diferencias en AS según tipo y orientación del laboreo (Tabla 3). Como era de esperar, el AS fue superior en las labores efectuadas en contra de la pendiente; con la excepción de VM donde se registra un mayor almacenamiento en el tratamiento a favor de la pendiente (VMF, Tabla 3). Siendo las diferencias de AS entre VMC y VMF más bien pequeñas -comparadas con las registradas entre los dos pares restantes de tratamientos (RC vs. RF y CC vs. CF)- y que no es razonable que un tratamiento a favor de la pendiente acumule más agua que uno en contra, se asume que el AS en los tratamientos VM no se ve en realidad afectado mayormente por el sentido de la labor. Esto último, se debería a la escasa (macro)-rugosidad observada en el laboreo VM, además de a la elevada inclinación del terreno que haría que el efecto de contención de estas macroformas sea mínima. Por otro lado, y considerando sólo tipos de laboreo, el Rotavator (R) es el laboreo que registró más AS, seguido de chisel (C) y luego Vertedera molón (VM).

La ecuación (7) fue utilizada, además, para estimar el AS a diferentes valores de pendiente: 0%, 5%, 15%, 20%, 30% y 40% (Tabla 3). El recalcado de AS a pendientes que se alejan mucho del valor experimental (10%) estarían sujetas, claro está, a mayor

error; sobre todo en el rango de pendientes bajas ($<10\%$) donde las variaciones de AS por unidad de pendiente son importantes (ver ec. 7).

Como ya se dijo, son hasta la fecha, muy pocos los trabajos de campo donde se hayan realizado mediciones directas de AS; recurriendo para ello a técnicas de impermeabilización de la superficie del suelo o a reproducciones del mismo en material impermeable (ver Introducción). Así, Gayle and Skaggs (1978), lograron medir el AS bajo diferentes condiciones; obteniendo valores de AS comprendidos entre 0,6 y 19 mm, para pendientes de 0-0,2% –esto es, AS máximo–. Concluyen que el almacenamiento es dependiente principalmente del tipo de suelo, laboreo y pendiente; lo que explicaría este amplio rango de valores obtenidos por esos autores. Por tanto, sus resultados, aunque importantes, son sólo orientativos y no generalizables.

Asimismo, Kamphorst and Duval (2001) midieron en laboratorio el AS máximo (superficie a nivel) de 2 réplicas de suelos –de rugosidad contrastante–, hechas de poliéster. Cada réplica se creó a partir de una superficie artificialmente preparada mediante la homogénea dispersión –en un área de 0,5 m²– de agregados de suelo menores de 40 mm, en un caso y menores de 80 mm, en el otro. Se obtuvieron, así, valores de rugosidad de $RR=4$ mm y $RR=15$ mm, respectivamente. Los valores de AS estuvieron comprendidos entre 0,4 y 52 mm. Cabe aclarar que las mediciones de Kamphorst and Duval se realizaron utilizando bordes de diferentes alturas –0 cm (sin borde) y 12 cm). Es así que, tratándose de superficies a nivel, en los experimentos con bordes muy elevados los valores AS habrían sido sobreestimados, según lo reconocen los propios autores. En nuestra experimentación creemos que el ‘efecto borde’ fue mínimo –quizás algo más importante en los tratamientos en contra de la pendiente–, no sólo porque la superficie muestreada era mayor (0,8-1 m²), sino –y principalmente– porque la misma estaba marcadamente inclinada ($\sim 10\%$, Tabla 3). Pero, precisamente esta inclinación hace que nuestros valores experimentales de AS no sean los máximos, como sí lo son los determinados por Kamphorst and Duval –errores aparte, debido al efecto borde mencionado–. En cambio, nuestra fuente principal de error al estimar el AS máximo (superficie a nivel) (Tabla 3) estriba en que no es el resultado de una medición directa sino –como se acaba de ver– de un ajuste basado en un método numérico (Álvarez-Mozos et al., 2011).

El análisis de los de la rugosidad –cuantificada ésta a través de los diferentes índices propuestos– no muestra una consistente relación entre AS y la rugosidad superficial (Anexo 1); es decir, se hubiera esperado que siempre a mayor rugosidad, mayor AS. En cambio, se observa –por ejemplo– que ciertos tratamientos se agrupan en un orden creciente de rugosidad, pero sin guardar una clara relación con los respectivos valores de AS; o que los valores de rugosidad son más o menos constantes entre grupos de tratamientos (Anexo 1). Esta inconsistencia anticipa –como se detallará más adelante– una insatisfactoria actuación de los modelos estudiados (recordemos que éstos se basan, justamente, en índices de rugosidad).

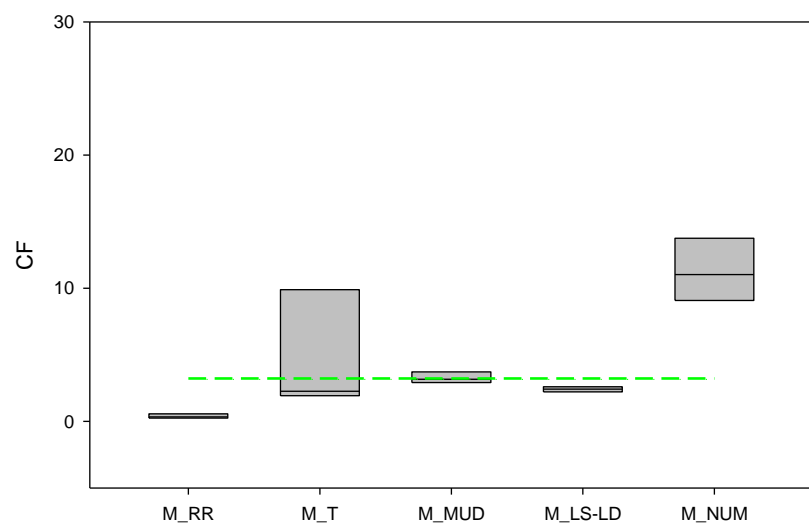
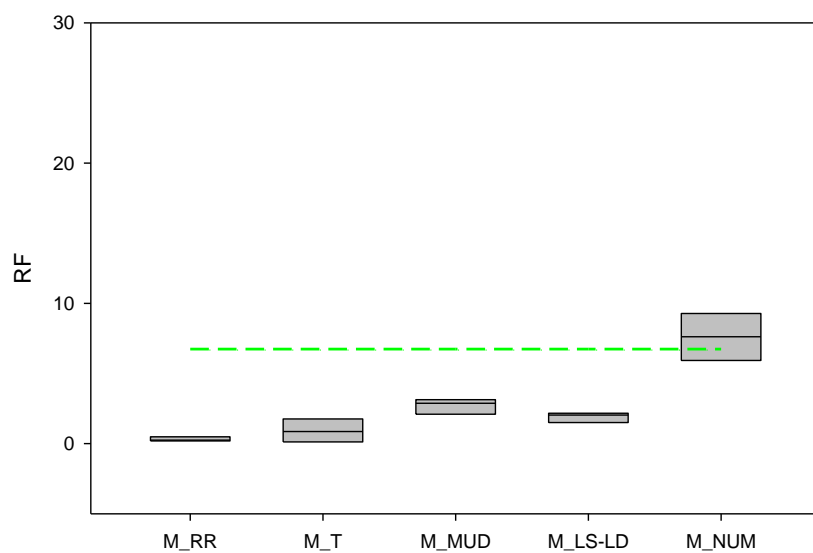
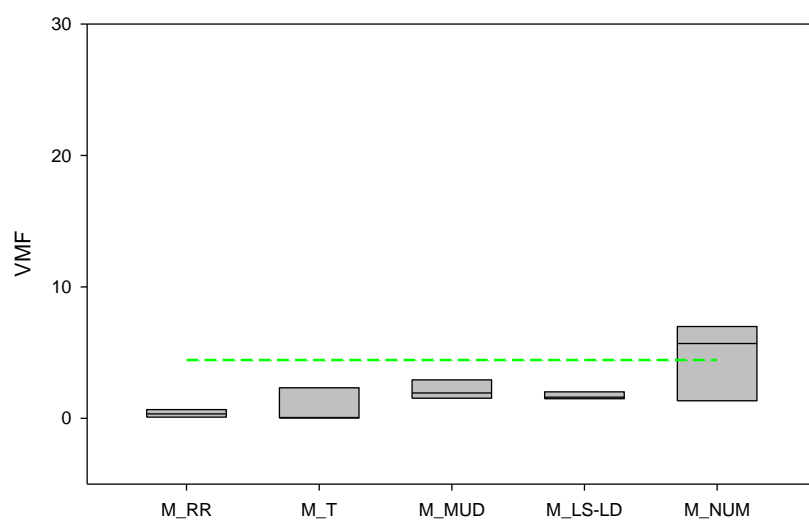
Evaluación de los modelos

Los valores de AS estimados por los diferentes modelos se indican en la Tabla 4 y en la Figura 8.

Tabla 4. Valores estimados de almacenamiento superficial de cada uno de los modelos evaluados (Tabla 2). Los valores son promedios de 5 repeticiones. Se destacan en rojo los valores ‘negativos’ estimados por el modelo M_{RR} .

| TRATAMIENTOS | M_{RR} | M_T | M_{MUD} | M_{LS-LD} | M_{NUM} |
|--------------|----------|--------|-----------|-------------|-----------|
| VMF | 0,372 | 0,9523 | 0,4571 | 1,7568 | 4,4671 |
| RF | 0,323 | 0,9289 | 0,4459 | 1,8727 | 7,6072 |
| CF | 0,396 | 5,180 | 2,486 | 2,410 | 11,337 |
| VMC | -0,130 | 0,134 | 0,064 | 1,951 | 4,179 |
| RC | -0,369 | 0,228 | 0,110 | 1,944 | 4,774 |
| CC | -0,039 | 1,485 | 0,713 | 2,332 | 11,121 |

Los modelos que cuyas predicciones arrojaron mayores errores fueron M_T y sobre todo M_{RR} ; este último incluso llegó a predecir valores *negativos* de AS. La baja actuación del modelo M_{RR} se explicaría en gran parte por estar basado en un índice de rugosidad (RR) que sólo tiene en cuenta la distribución de alturas (componente vertical) de la rugosidad y no la distribución espacial (componente horizontal) de las medidas de altura. De hecho, y en teoría, dos superficies cualesquiera muy contrastantes en cuanto a la frecuencia de sus macro-formas podrían tener valores parecidos de RR, siempre y cuando no difieran mayormente en la distribución de alturas. Por otro lado, cabe aclarar que la formulación de M_{RR} (Tabla 2) presupone que el índice RR se obtuvo de un perfil de alturas corregido tanto por pendiente como por las macro formas inducidas por el laboreo. Pero, esta segunda corrección fue obviada en nuestro caso, con lo cual es de esperar que las constantes del modelo (Tabla 2) no se ajusten totalmente a nuestros datos experimentales. Precisamente, los valores negativos de AS se dieron en los tratamientos realizados en contra de la pendiente, es decir, donde las macro formas a lo largo del perfil de alturas serían máximas. Lamentablemente, el limitado número de repeticiones no nos permite hacer un recálculo de dichas constantes que tenga un aceptable valor estadístico.



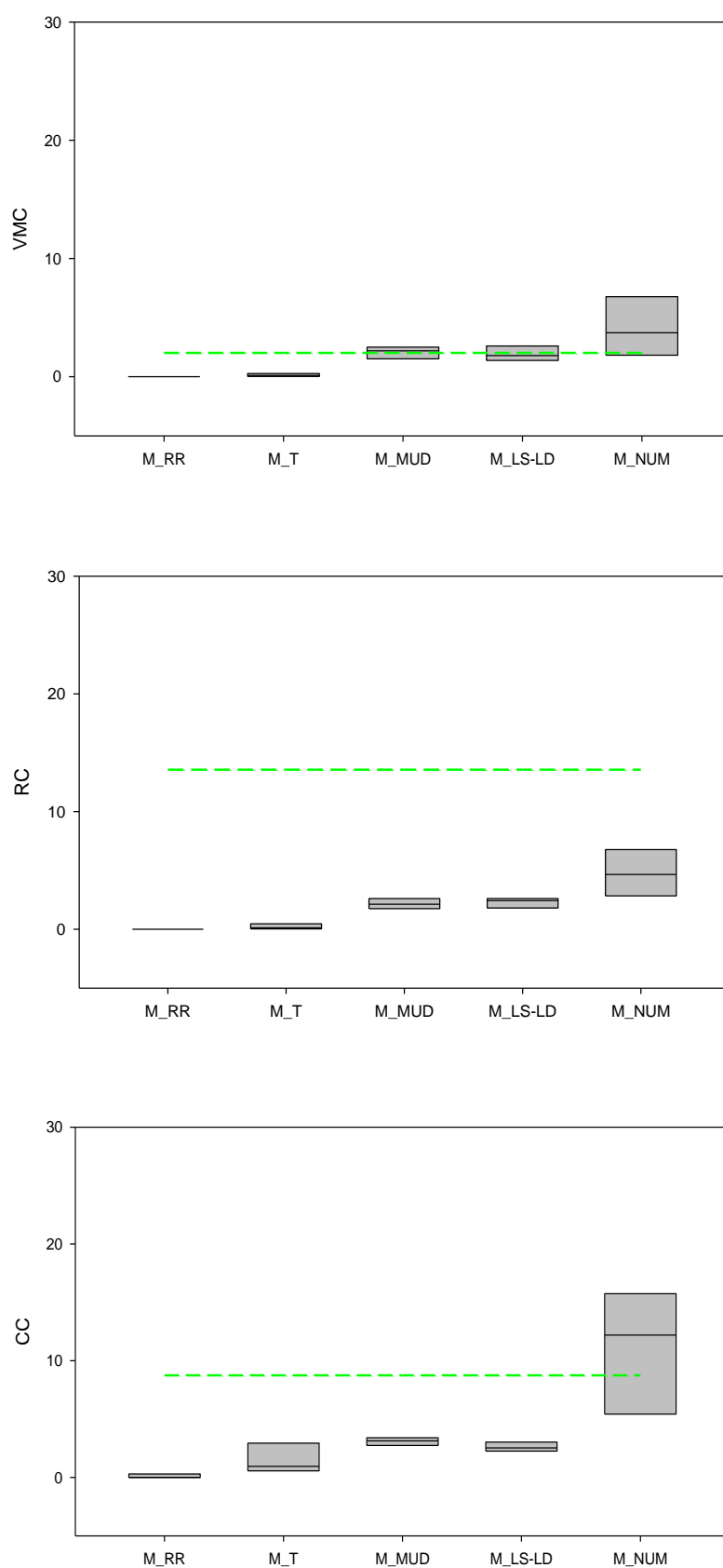


Figura 8. Valores de almacenamiento superficial estimados, en cada tratamiento (ordenadas), por los distintos modelos (abscisa). La línea verde discontinua indica el valor de referencia (experimental).

El desempeño de M_T tampoco fue bueno (Figura 8). Además, este modelo presenta la limitación añadida de que el índice de la tortuosidad (T) será diferente según sea la distancia que separa los puntos de medición; es decir, es dependiente de la frecuencia con la que se lean los datos (Kamphorst *et al.*, 2000). En nuestro caso, el índice T fue determinado con una elevada precisión ya que el perfil de alturas estaba compuesto por mediciones hechas cada 5 mm. Aun así, el error de estimación de este modelo fue también elevado (Fig. 8).

Por otro lado, aquellos modelos que describen en términos físicos la microrugosidad del suelo –y por tanto son capaces de analizar la dependencia espacial de la rugosidad– fueron los de mejor desempeño. Es el caso de los modelos M_{num} , M_{MUD} , y M_{LS-LD} . Aun con todo, el error promedio de estimación de estos 3 modelos fue superior a 55% (Fig. 9).

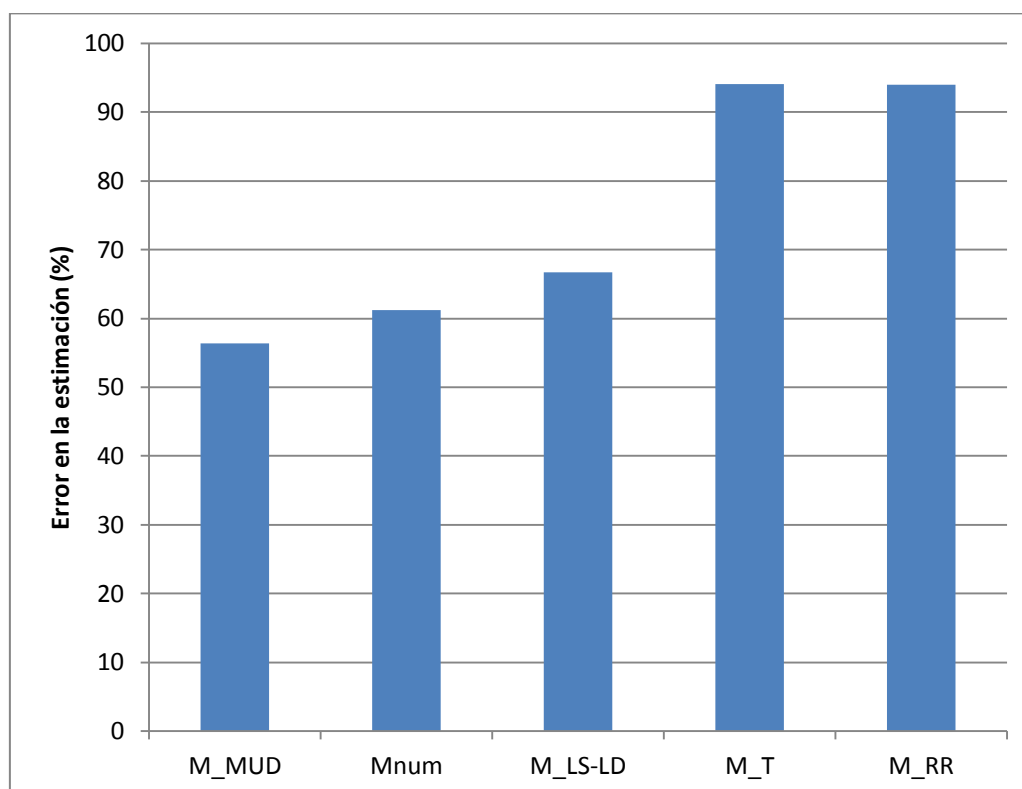


Figura 9. Error de estimación promedio de los distintos modelos (calculado a partir de los datos de la Figura 8). Para el modelo M_{RR} sólo se tuvieron en cuenta los valores positivos de AS (ver Tabla 4).

La baja calidad predictiva de M_{num} , —a pesar de su fundamento físico— se debería a su carácter bidimensional (2D). Así, este modelo asume que la rugosidad de la superficie es homogénea; y que por tanto un perfil de altura sería una muestra representativa de toda la superficie del suelo. Nuestros resultados indicarían, que esto último no es del todo cierto ya que, en cada tratamiento, M_{num} calcula un valor (muy) diferente de AS según cuál de las 5 repeticiones (perfil de alturas) (Anexo 2) se haya considerado en el cálculo.

Asimismo, si analizamos las imágenes binarias (zonas de almacenaje de agua-zonas de no almacenaje) de cada tratamiento (Anexo 3) se observa que el patrón de almacenaje es heterogéneo en la casi totalidad de los casos. Esto se evidencia en el diagrama de cajas de la figura 10 donde se muestra, en cada tratamiento, cómo varía el porcentaje de la superficie ocupada por agua según consideremos el área total ($0,8-1 \text{ m}^2$) (línea discontinua dentro de la caja) o bien cada una de las pequeñas sub-áreas que resultan al dividir el área total en 80-100 partes iguales.

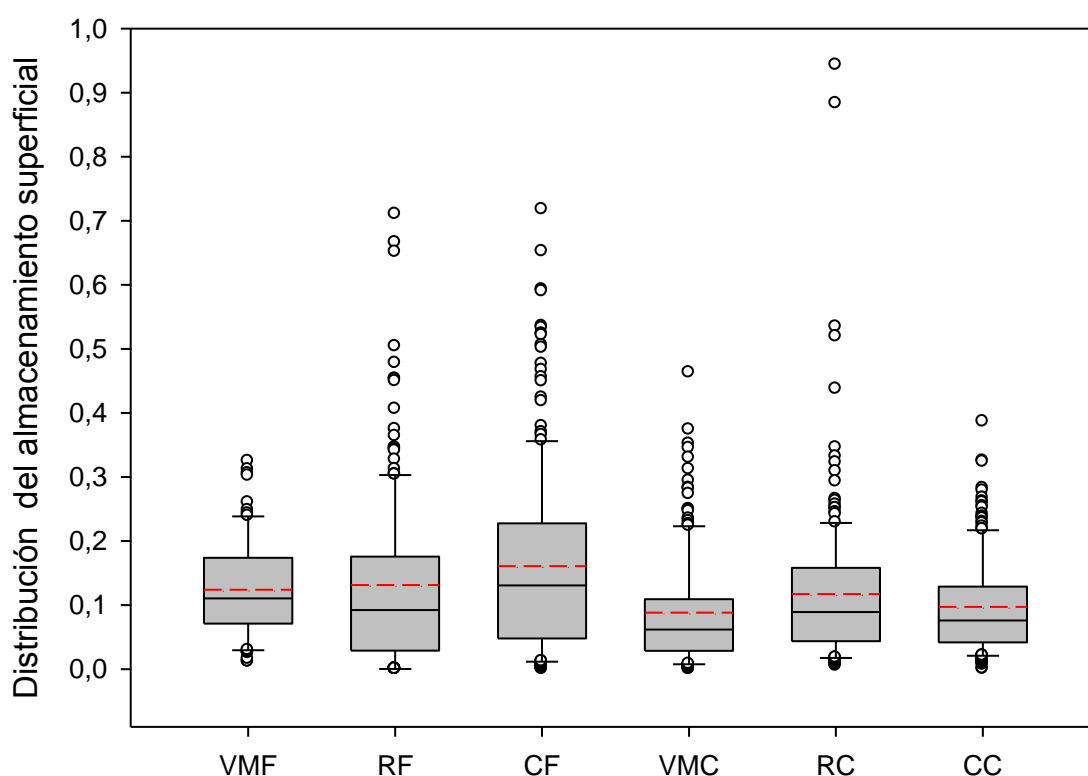


Figura 10. Porcentaje de la superficie, de cada tratamiento, ocupada por agua según consideremos el área total ($0,8-1 \text{ m}^2$) (línea discontinua dentro de la caja) o bien cada una de las pequeñas sub-áreas que resultan al dividir el área total en 80-100 partes iguales (ver más detalles en el texto). Los valores resultan del análisis de las imágenes tomadas al final de cada experimentación (Anexo 3).

Otra fuente de error, menos evidente, está generada en la incapacidad de obtener perfiles de alturas que sean fieles reflejos de la rugosidad superficial. El perfilómetro realiza mediciones ortogonales; de tal manera que las cavidades bajo los grandes agregados no son registradas. Por tanto, los valores de AS se estarían subestimando, sobre todo en las situaciones con suelo muy aterronado. Es así que, si al área total de almacenamiento la multiplicamos por la profundidad promedio de lámina de agua (medidas con el limnómetro) obtendríamos una estimación del AS. Sin embargo, se advierte que el valor de AS, así determinado, difiere notablemente del valor real (Fig. 11), sobre todo en los tratamientos de mayor rugosidad (por ej. RC). Cabe aclarar que gran parte de este error surge al considerar un valor promedio de profundidad en lugar de discriminarse según zonas de almacenaje. A pesar de ello, este error se daría por igual en todos los casos, con lo cual las comparaciones anteriores serían igualmente válidas. De hecho, aprovechando las diferentes tonalidades de azul que se observaban según la profundidad de la lámina, nuestra primera intención fue asignar a 3-4 contrastantes tonos de azul, un valor promedio de profundidad. Esta idea fue descartada luego de los primeros experimentos, al advertir que esta graduación de tonos sólo se lograba diluyendo una cantidad de azul de metileno tal que teñía incluso las zonas de no almacenaje; dificultando, así, el posterior procesamiento de imagen.

Son muy pocos los trabajos —que conozcamos— en donde se haya realizado una evaluación exhaustiva de modelos de estimación del almacenamiento superficial de agua. Todos ellos se caracterizan por no utilizar, como valores de referencias, mediciones directas de AS. En su lugar, se valen de mediciones de altitud a partir de las cuales se recrea, en 2 o 3 dimensiones, la superficie del terreno (por ej., Hansen et al., 1999; Vázquez y Taboada, 1999; Berneveld et al., en prensa). Luego, con el uso de algoritmos, se estima el discurrir del agua sobre esta superficie y sus zonas de almacenamiento. Ya indicamos el error que se cometería al intentar reproducir las microrugosidades del terreno a través de mediciones hechas con perfilómetros. Cabe añadir, que en nuestra experimentación se observó —y se registró en vídeo— una muy compleja dinámica en el flujo de agua debida, sobre todo, a una intrincada interconexión entre las innumerables depresiones del terreno. Por tanto, la fiabilidad de los mencionados algoritmos, sería cuestionable. En definitiva, los valores de referencia de AS utilizados en estudios previos de evaluación de modelos, no tendrían la misma certeza que los nuestros.

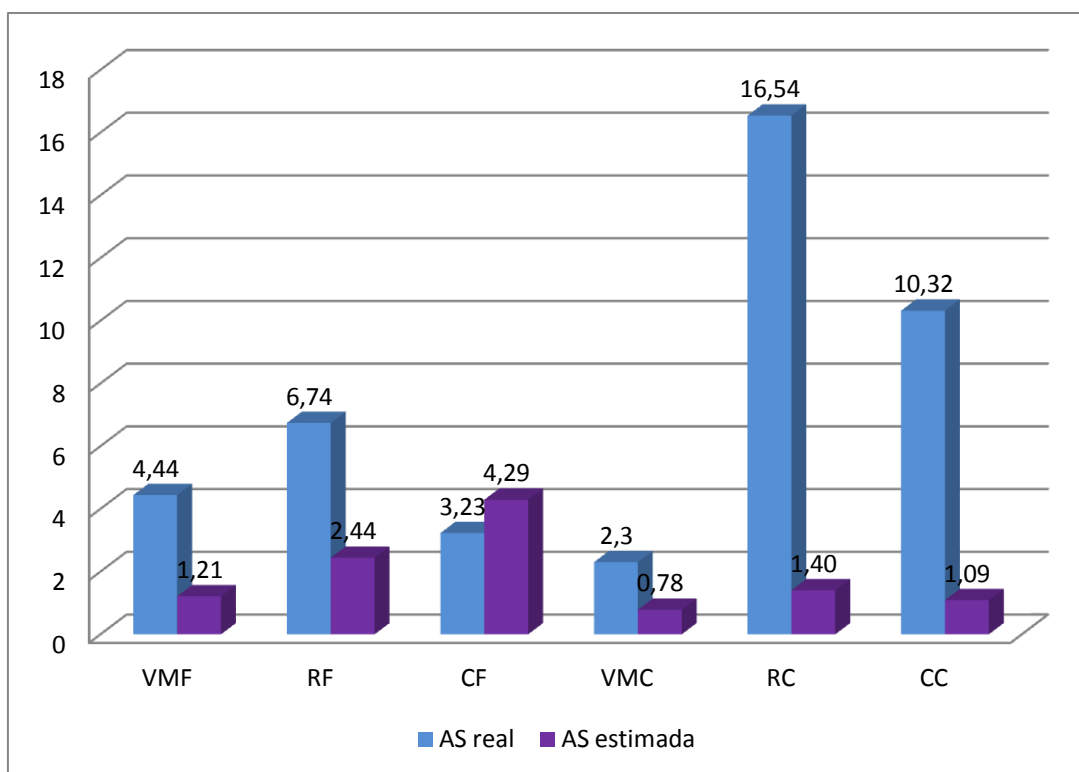


Figura 11. Diferencias entre el AS real y el AS estimado -en litros- por los diferentes modelos de rugosidad evaluados. Valores experimentales (reales, azul) y estimados (morado) de almacenaje superficial (AS) en los diferentes tratamientos. Los valores estimados resultan de multiplicar el área total de almacenamiento -obtenida del procesamiento de imágenes (Anexo 3)- por la profundidad promedio (medidas con el limnómetro).

Efecto del laboreo en la tasa de infiltración

La medición conjunta del almacenamiento superficial y de la tasa de infiltración del suelo bajo distintas condiciones de laboreo, es infrecuente. De hecho, creemos que este trabajo es el primero en el que se realizan mediciones exhaustivas de ambos fenómenos. Como era de esperar, los diferentes tipos de labor (VM, R y C) alteraron la capacidad de transmisión de agua a través del suelo (Tabla 5). Se observa en todos los casos un incremento de la tasa de infiltración básica con respecto a los valores originales del suelo. Sin embargo, este incremento es de menos de 30% en los tratamientos con chisel (C) y de más 300% en vertedera-molón (VM). Cabe aclarar que estos valores no deben generalizarse ya que podrían ser diferentes según tipo y condiciones del suelo, etc. Por otro lado, debe recordarse que estos valores corresponden a la infiltración básica o final; es decir, cuando el suelo se encuentra con un contenido de humedad cercano a saturación.

Tabla 5. Tasa de infiltración básica de los diferentes tratamientos.

| TRATAMIENTOS | AS _{ajustado} (10%) (mm) | TASA INFILTRACIÓN (mm/h) | %ΔI * | TIEMPO AS ESTIMADO ** (min) |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------|-----------------------------------|
| VMF | 4,44 | 50,35 | 318 | 5,29 |
| VMC | 2,30 | | | 2,74 |
| RF | 6,74 | 38,61 | 221 | 10,47 |
| RC | 16,54 | | | 25,70 |
| CF | 3,23 | 15,25 | 27 | 12,69 |
| CC | 10,32 | | | 41 |

*Diferencia porcentual con respecto a la tasa de infiltración del suelo previo al laboreo (12,03 mm/h, promedio de 5 repeticiones). ** Resultante del balance AS vs. tasa infiltración.

Algunos autores sugieren que aquellos laboreos que dejan mayor rugosidad –y por tanto, una mayor capacidad de AS– generan, a su vez, un incremento en la capacidad de transmisión de agua -por Ej., Vidal Vázquez, E. y Taboada Castro, M^a. M., (1999) -. Sin embargo, nuestros resultados no muestran una clara tendencia al respecto. De hecho, el tipo de labor con menor registro de AS (VM) fue el que registró un mayor incremento en la tasa de infiltración (Tabla 5).

Conocer la tasa de infiltración asociada a un determinado AS es importante. No debemos olvidar que los valores experimentales de AS corresponden a la máxima capacidad de agua, *instantánea*. Pero, esta agua podrá permanecer más o menos tiempo en superficie, según sea precisamente la capacidad de infiltración que tenga el suelo. Por ejemplo, nuestros resultados muestran que el tratamiento CC permitiría almacenar el doble de agua que el VMF, pero en este último se infiltraría a mucha mayor velocidad (cuatro veces más rápidamente) (Tabla 5). Así, podría convenir la aplicación de uno u otro laboreo según las circunstancias. Por ejemplo, si fuesen habituales precipitaciones intensas y de corta duración, se optaría por aquel manejo que me ofrece el mayor AS, es decir CC. Mientras que si predominasen lluvias de baja intensidad pero de larga duración, la mejor alternativa sería VM.

Conclusiones

La capacidad de almacenamiento superficial (AS) del suelo tanto en condiciones naturales como ocasionadas por la actividad agrícola es un importante aspecto a tener en cuenta en estudios hidrológicos. Sin embargo, la gran dificultad de la medición directa y precisa del AS hace que sean muy escasos los estudios en donde este tipo de determinaciones se hayan llevado a cabo. En su lugar suele recurrirse al uso de modelos (empíricos) predictivos, de incierta fiabilidad. En este estudio se han realizado in situ exhaustivas mediciones de AS en un suelo bajo diferentes condiciones de laboreo; además, se han evaluado los modelos más conocidos de estimación del AS. Las principales conclusiones de esta investigación se indican a continuación.

El tipo de laboreo del suelo y la dirección del mismo con respecto a la pendiente general del terreno afectan en forma notable la capacidad de almacenamiento superficial del agua de lluvia o esorrentía (AS). En términos generales, el mayor AS se daría en superficies con elevada rugosidad, sobre todo cuando las macroformas (inducidas por el laboreo) cortan la pendiente principal. Aunque, en terrenos empinados (por Ej., más de 10%) y cuando el laboreo no genera una macrorugosidad muy marcada (por Ej., vertedera seguida de molón), la dirección del laboreo no afectaría mayormente dicho AS.

Los modelos empíricos de estimación de AS (M_{RR} , M_T , M_{LS-LD} y M_{MUD} ; ver tabla 2) tuvieron un limitado desempeño (más de 55% de error en la predicción). Esta baja eficacia predictiva se debe a que los índices de rugosidad (variables explicativas) no reflejaron en forma adecuada la complejidad de la rugosidad superficial, especialmente la debida a macro-formas. De hecho, no se recomienda el uso del modelo M_{RR} en superficies donde existan macro-formas (inducidas por laboreo) sin –al menos– un previo recálculo de sus constantes empíricas; concebidas éstas, precisamente, sólo para superficies con microrugosidad natural.

El método numérico bidimensional analizado, M_{num} , fue también poco efectivo, a pesar de su base física. De esto se infiere que una representación 2D de las depresiones del terreno no resulta del todo representativa de la superficie (3D) analizada. Métodos numéricos aplicados, en cambio, en modelos digitales de elevación 3D (MDE) mejorarían, por tanto, las predicciones.

Los suelos muy rugosos encierran bajo sus agregados grandes cavidades que no pueden ser registradas por los perfilómetros convencionales. De tal manera que, el desempeño de los métodos numéricos basados en MDE mantendrían, igualmente, un cierto error (subestimación) de predicción.

El laboreo del suelo no sólo afecta el AS del mismo sino también su tasa de infiltración. Es así que, para un correcto manejo hidrológico del suelo, no basta conocer su capacidad instantánea de almacenaje superficial de agua, sino también el tiempo de permanencia de la misma sobre dicha superficie.

Bibliografía

ÁLVAREZ-MOZOS, J., CAMPO, M. A., GIMÉNEZ, R., CASALÍ, J. and LEIBAR, U., (2011). Implication of scale, slope, tillage operation and direction in the estimation of surface depression storage. *Soil Tillage Research* (2010), doi:10.1016/j.still.2010.09.004.

ALLMARAS, R. R., BURWELL, R. E., LARSON, W.E. and HOLT, R. F., (1966). Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. *USDA Conservation Research Report 7: 1-14*.

BERMEVELD. R., SEEGER, M., MAALEN-JOHANSEN, I. Determining Surface Depression Storage with data obtained with a Terrestrial Laser Scanner. *Earth Surface Processes and Landforms* (En prensa).

BOIFFIN, J., (1984). La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. *Thèse docteur-ingénieur, Paris INA-PG. 320 pp*.

CURRENCE, H. D. and LOVELY, W. D., (1970). The analysis of soil surface roughness. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering. pp. 710-714*.

DE ROO, A. P. J., WESSELING, C. G. and RITSEMA, C. J., (1996). LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output. *Hydrological processes 10: 1107-1117*.

GAYLE, G. A. and SKAGGS, R. W., (1978). Surface storage on bedded cultivated lands. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering, 21: 101-109*.

HANSEN, B., SCHJØNNING, P. and SIBBESEN, E., (1999). Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces. *Soil Tillage Research 52: 103-111*.

KAMPHORST, E. C. and DUVAL, Y., (2001). Validation of a numerical method to quantify depression storage by direct measurements on moulded surfaces. *Catena 43 (2001) 1-14*.

KAMPHORST, E. C., JETTEN, V., GUÉRIF, J., PITKÄNEN, J., IVERSEN, B. V., DOUGLAS, J. T. and PAZ, A., (2000). Predicting depression storage from soil surface roughness. *Soil Science Society of America Journal, 64: 1749-1758 (2000)*.

LINDEN, D. R., VAN DOREN, D. M. Jr. and ALLMARAS, R. R., (1988). A model of the effects of tillage-induced soil surface roughness on erosion. *Tillage and Traffic in Crop Production Proceedings of the 11th ISTRO Conference 11-15 July, Edinburgh, Scotland*. pp. 373-378.

MORGAN, R. P. C., QUINTON, J. N., SMITH, R. E., GOVERS, G., POESEN, J. W. A., AUERSWALD, K., CHISCI, G., TORRI, D., STYCZEN, M. E. and FOLLY, A. J. V., (1998). The European soil erosion model and user guide version 3.6. *Silsoe College, Cranfield Univ., UK*.

ONSTAD, C. A., (1984). Depressional storage on tilled soil surfaces. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 27: 729-732.

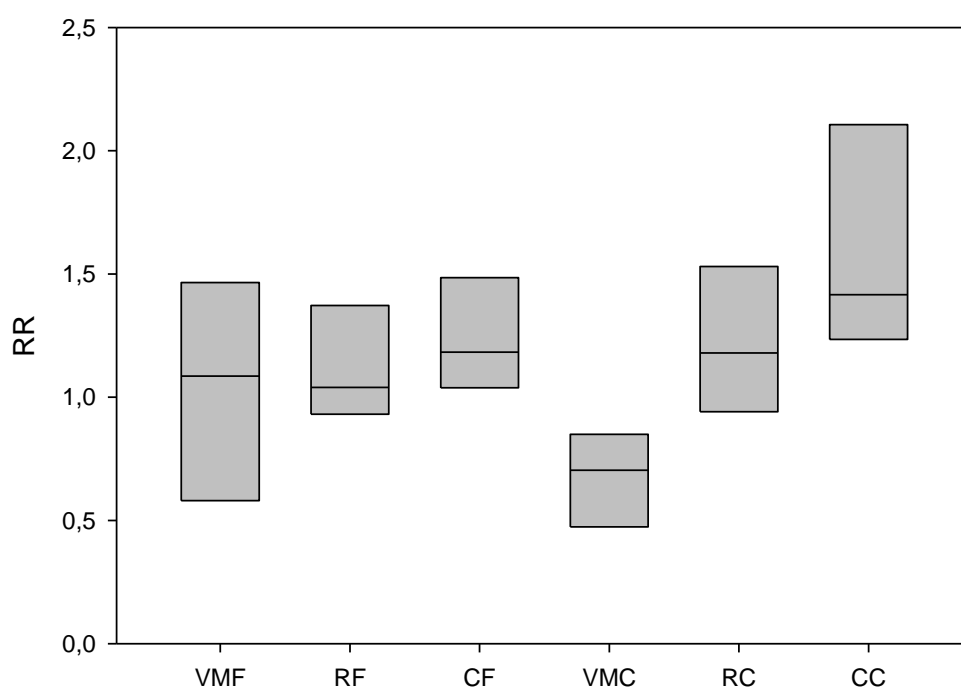
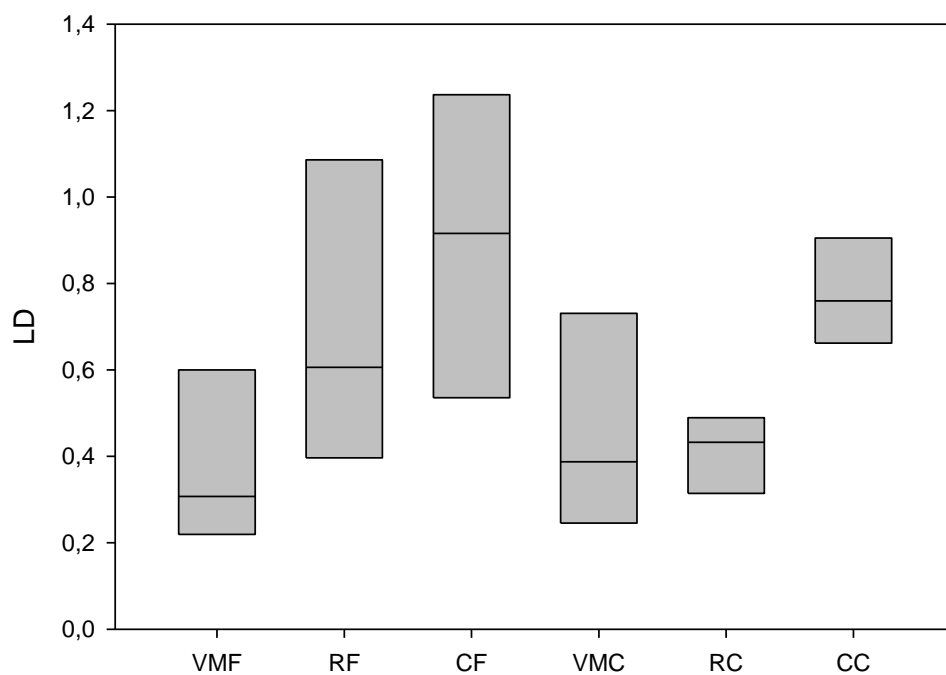
PLANCHON, O. and DARVOUX, F., (1999). An efficient method for calculating depression storage capacity. In: AUZET, V., POESEN, J. and VALENTIN, C. (Eds.), *Soil pattern as a key factor of water and/or wind erosion. Catena special issue*.

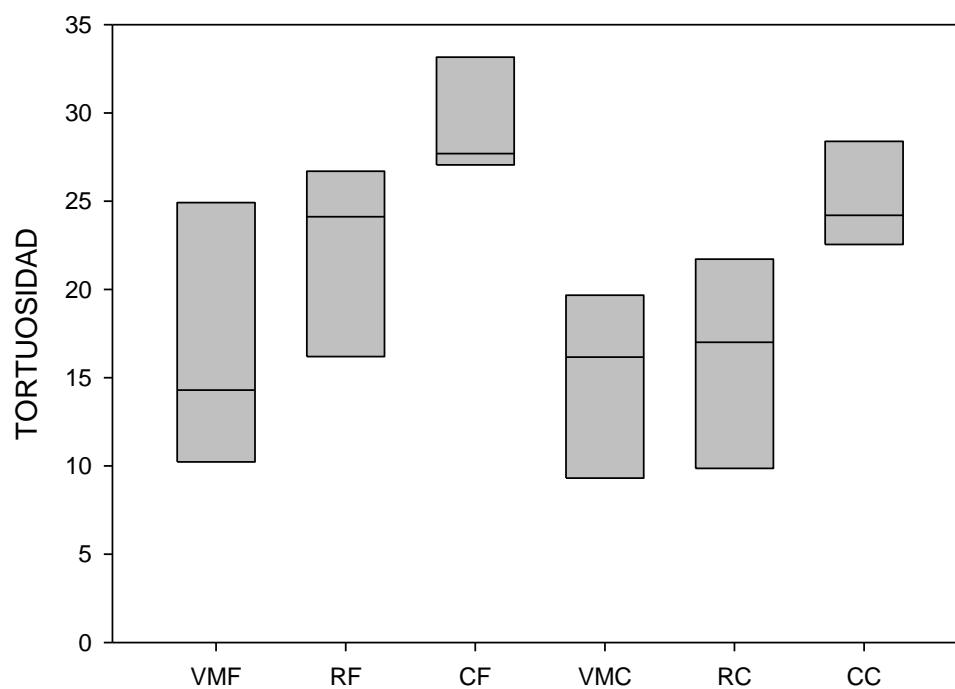
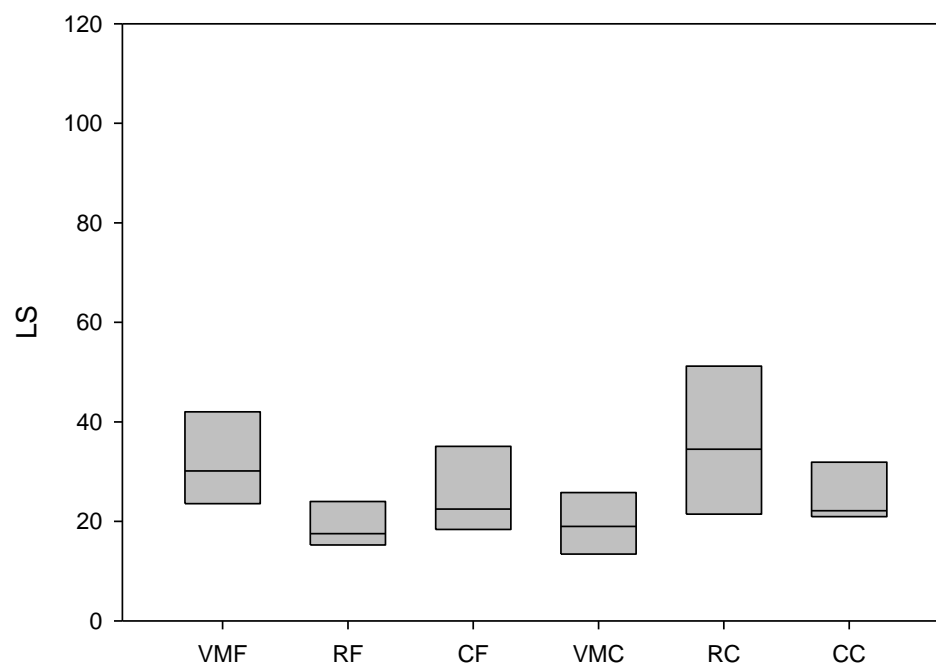
PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C., (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3^a Edición. *Ediciones Mundi-Prensa. Madrid*. 960 pp.

VIDAL VÁZQUEZ, E. y TABOADA CASTRO, M^a. M., (1999). Índices de rugosidad y estimación del almacenamiento temporal de agua en un terreno de cultivo.

ANEXO 1

Valores de rugosidad, de cada tratamiento (Ver tratamientos en tabla 1), calculados a través de los diferentes índices evaluados (RR, LD, LS y T, Tabla 2).

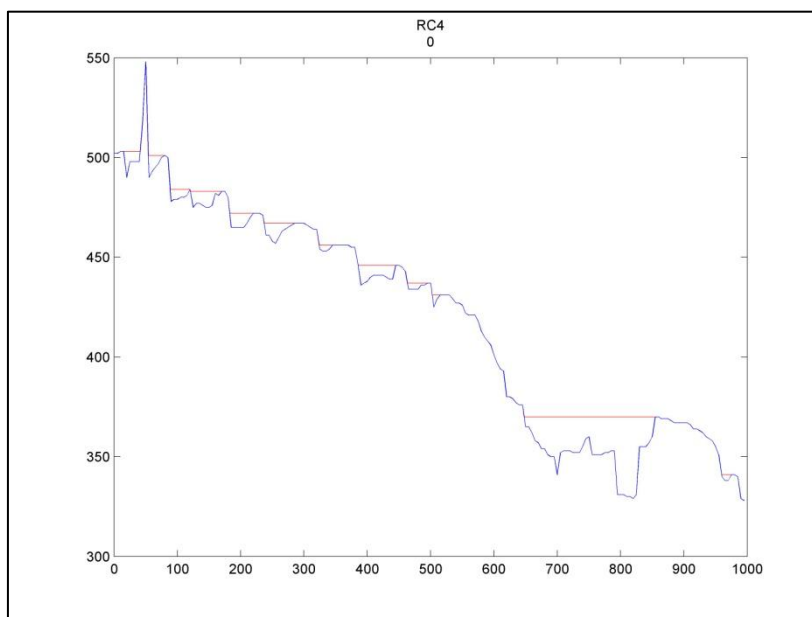
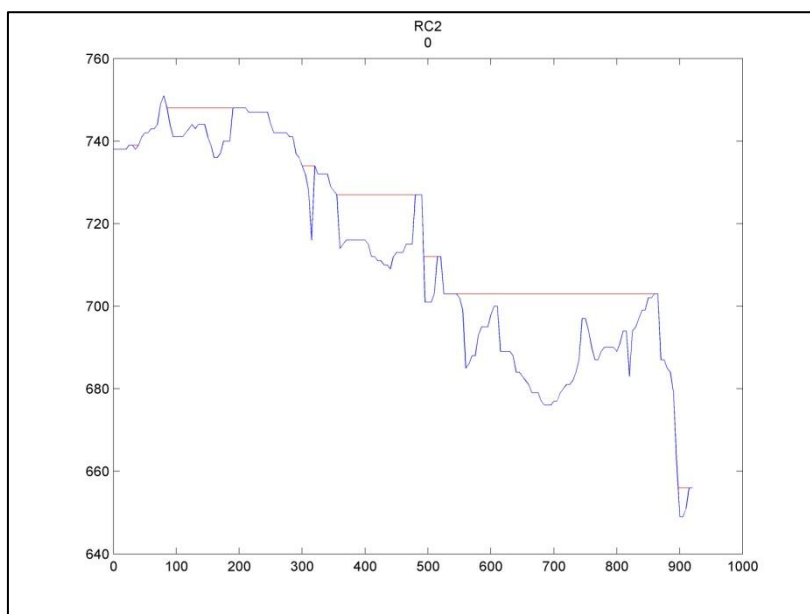


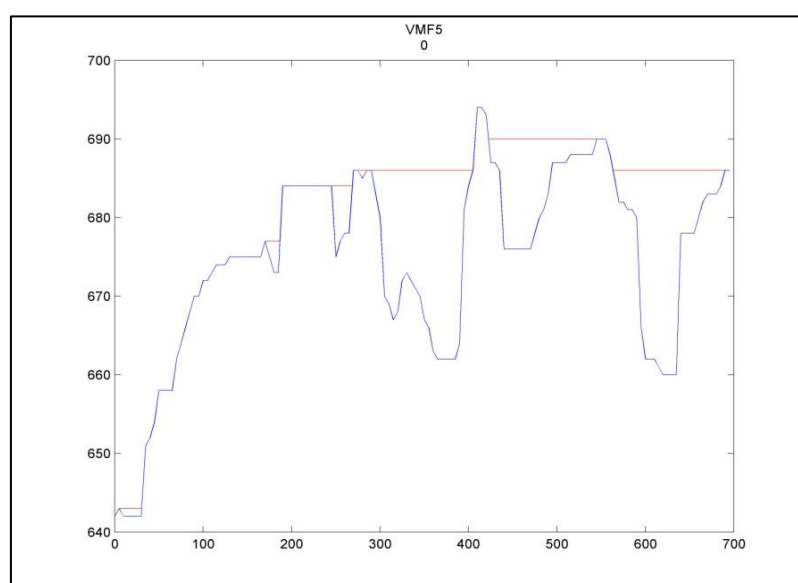
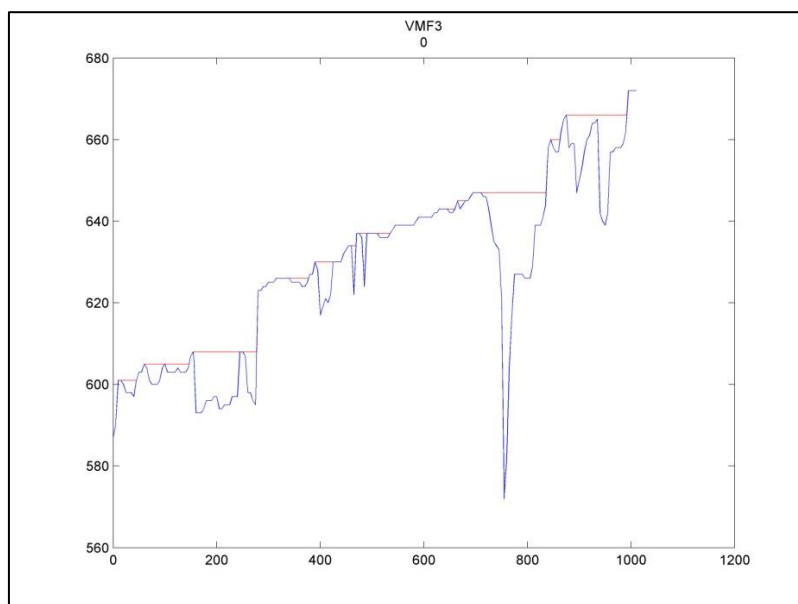
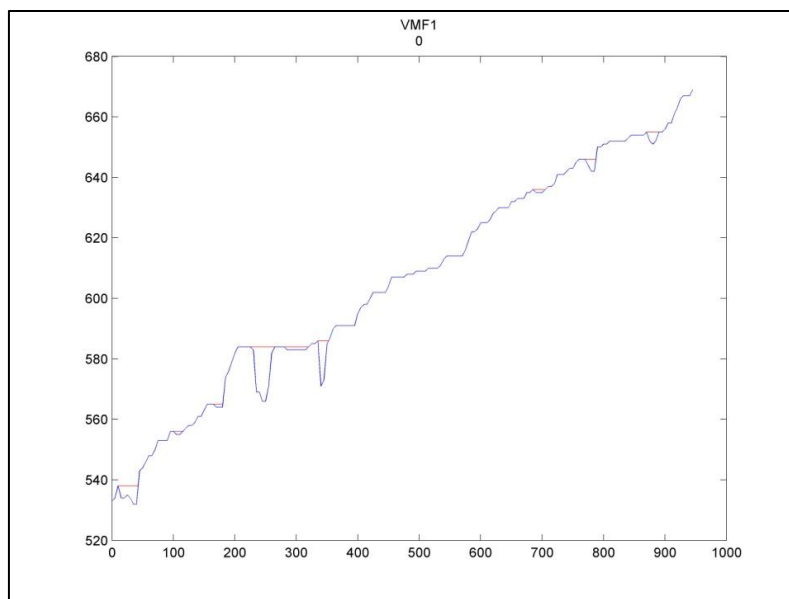


ANEXO 2

Perfiles longitudinales de altura.

Ejemplos de perfiles longitudinales de altura obtenidos de dos tratamientos (RC y VMF; el dígito acompañante indica el número de repetición) cuyas depresiones fueron virtualmente llenadas por ‘agua’ aplicando el método numérico (M_num). Se destaca el gran contraste de valores aún entre repeticiones de un mismo tratamiento.



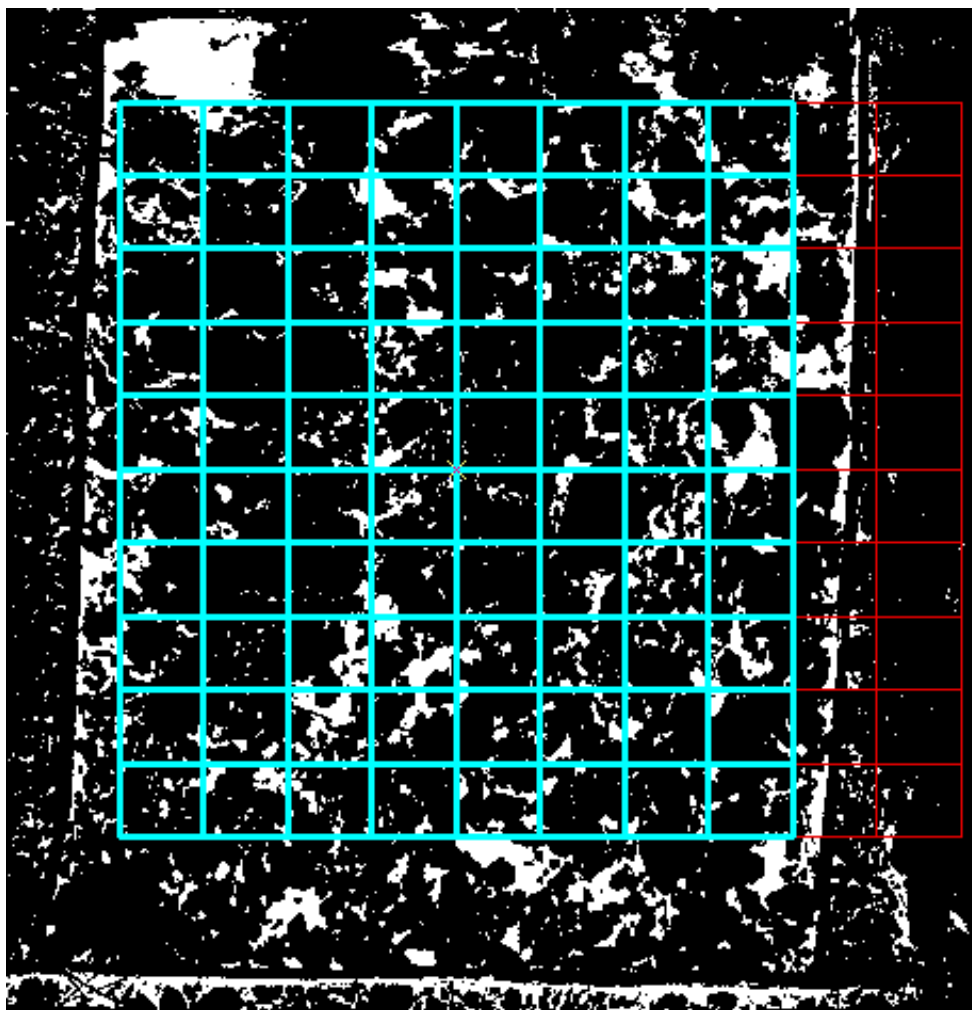


ANEXO 3

Patrones de almacenaje: imágenes binarias.

Ejemplo, en cada tratamiento, de una imagen binaria (zonas de almacenaje de agua, blanco y zonas de no almacenaje, negro) donde se destaca la gran heterogeneidad del patrón de almacenaje. Cada imagen fue dividida en 80-100 áreas (ver cuadrícula) y las mismas analizadas individualmente (ver datos en la tabla acompañante). En “numeración cuadrados”, el primer dígito corresponde al número de fila (para la primera fila debe anteponerse el “0”) y el segundo, al de columna.

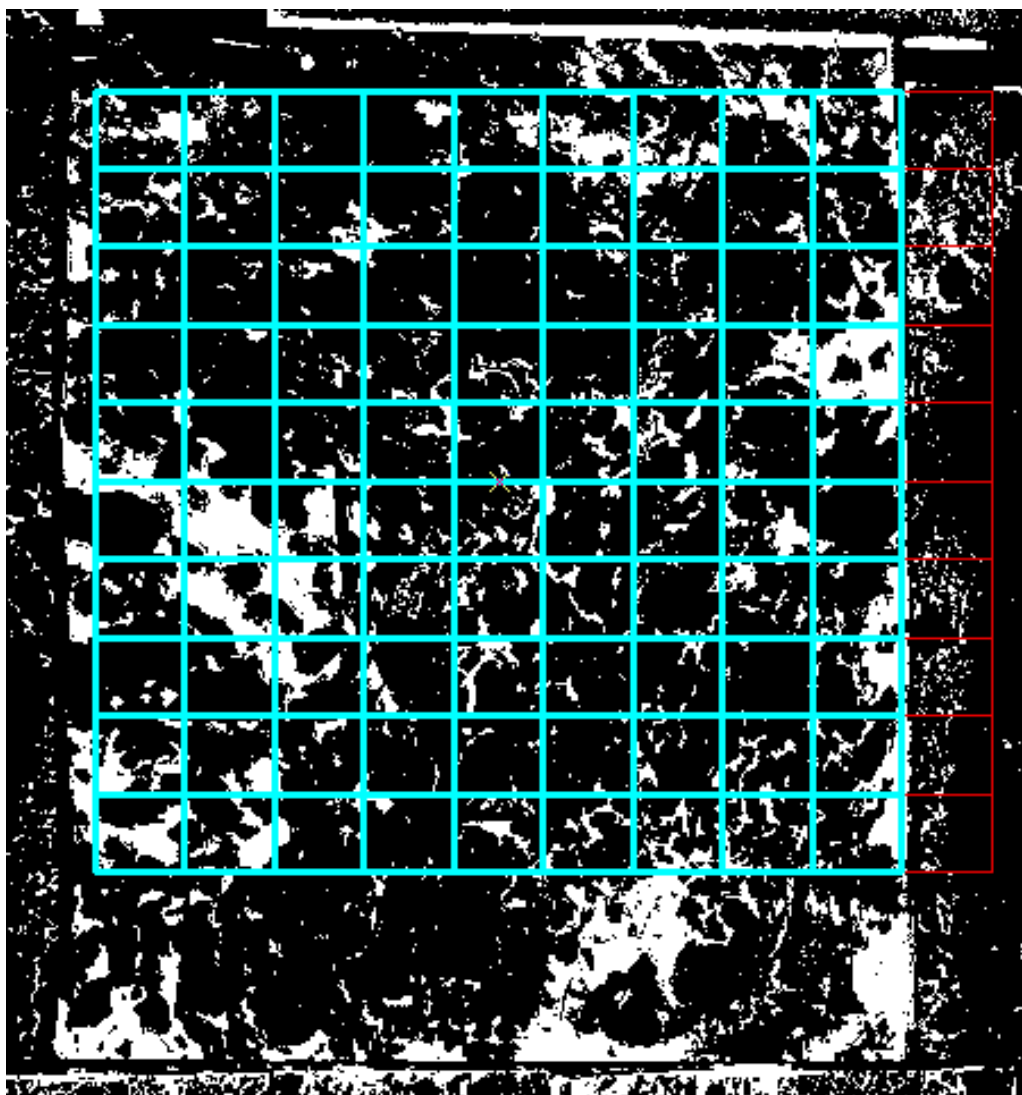
VERTEDERA-MOLÓN FAVOR



| Numeración cuadrados | Área | Media | Desviación típica | Sumatorio |
|-------------------------|--------|--------|----------------------|-----------|
| 1 | 53,164 | 0,1179 | 0,322506 | 2571 |
| 2 | 53,164 | 0,1699 | 0,375604 | 3706 |
| 3 | 53,164 | 0,0460 | 0,209585 | 1004 |
| 4 | 53,164 | 0,1086 | 0,311257 | 2370 |
| 5 | 53,164 | 0,0263 | 0,160236 | 575 |
| 6 | 53,164 | 0,0796 | 0,270702 | 1736 |
| 7 | 53,164 | 0,1797 | 0,383969 | 3919 |
| 8 | 53,164 | 0,1274 | 0,33348 | 2779 |
| 11 | 52,779 | 0,2386 | 0,426263 | 5166 |
| 12 | 52,779 | 0,0495 | 0,217056 | 1073 |
| 13 | 52,779 | 0,1160 | 0,320228 | 2511 |
| 14 | 52,779 | 0,2251 | 0,417663 | 4873 |
| 15 | 52,779 | 0,1046 | 0,306086 | 2265 |
| 16 | 52,779 | 0,0752 | 0,263805 | 1629 |
| 17 | 52,779 | 0,1849 | 0,38824 | 4003 |
| 18 | 52,779 | 0,2423 | 0,428479 | 5245 |
| 21 | 53,164 | 0,0254 | 0,157361 | 554 |
| 22 | 53,164 | 0,0246 | 0,15513 | 538 |
| 23 | 53,164 | 0,0647 | 0,246099 | 1412 |
| 24 | 53,164 | 0,2020 | 0,401511 | 4405 |
| 25 | 53,164 | 0,0696 | 0,254583 | 1519 |
| 26 | 53,164 | 0,0988 | 0,29844 | 2155 |
| 27 | 53,164 | 0,1749 | 0,3799 | 3814 |
| 28 | 53,164 | 0,3114 | 0,46307 | 6790 |
| 31 | 53,164 | 0,0994 | 0,299302 | 2169 |
| 32 | 53,164 | 0,0158 | 0,124789 | 345 |
| 33 | 53,164 | 0,0277 | 0,164248 | 605 |
| 34 | 53,164 | 0,2090 | 0,406625 | 4558 |
| 35 | 53,164 | 0,0351 | 0,18411 | 766 |
| 36 | 53,164 | 0,0489 | 0,215734 | 1067 |
| 37 | 53,164 | 0,0842 | 0,277832 | 1838 |
| 38 | 53,164 | 0,2595 | 0,438381 | 5659 |
| 41 | 52,779 | 0,1423 | 0,349393 | 3081 |
| 42 | 52,779 | 0,0697 | 0,254662 | 1509 |
| 43 | 52,779 | 0,0971 | 0,296167 | 2103 |
| 44 | 52,779 | 0,1464 | 0,353507 | 3169 |
| 45 | 52,779 | 0,0113 | 0,105784 | 245 |
| 46 | 52,779 | 0,1154 | 0,319563 | 2499 |
| 47 | 52,779 | 0,1905 | 0,392747 | 4125 |
| 48 | 52,779 | 0,3242 | 0,468098 | 7019 |

| | | | | |
|----|--------|--------|----------|------|
| 51 | 53,164 | 0,1156 | 0,31977 | 2521 |
| 52 | 53,164 | 0,0893 | 0,285302 | 1949 |
| 53 | 53,164 | 0,0566 | 0,231154 | 1235 |
| 54 | 53,164 | 0,1449 | 0,352028 | 3160 |
| 55 | 53,164 | 0,0459 | 0,209387 | 1002 |
| 56 | 53,164 | 0,0802 | 0,271625 | 1749 |
| 57 | 53,164 | 0,2023 | 0,401784 | 4413 |
| 58 | 53,164 | 0,1445 | 0,351657 | 3152 |
| 61 | 53,164 | 0,1666 | 0,372637 | 3633 |
| 62 | 53,164 | 0,0114 | 0,106463 | 250 |
| 63 | 53,164 | 0,0658 | 0,248035 | 1436 |
| 64 | 53,164 | 0,1225 | 0,327915 | 2672 |
| 65 | 53,164 | 0,0309 | 0,173203 | 675 |
| 66 | 53,164 | 0,1134 | 0,31716 | 2474 |
| 67 | 53,164 | 0,1868 | 0,389788 | 4074 |
| 68 | 53,164 | 0,0783 | 0,268768 | 1709 |
| 71 | 53,164 | 0,1041 | 0,305462 | 2271 |
| 72 | 53,164 | 0,0293 | 0,168791 | 640 |
| 73 | 53,164 | 0,2476 | 0,431654 | 5400 |
| 74 | 53,164 | 0,3014 | 0,458891 | 6573 |
| 75 | 53,164 | 0,1169 | 0,321417 | 2551 |
| 76 | 53,164 | 0,1230 | 0,328548 | 2684 |
| 77 | 53,164 | 0,1119 | 0,31525 | 2440 |
| 78 | 53,164 | 0,2367 | 0,425085 | 5162 |
| 81 | 52,779 | 0,1138 | 0,317663 | 2465 |
| 82 | 52,779 | 0,1069 | 0,309105 | 2316 |
| 83 | 52,779 | 0,3051 | 0,460465 | 6605 |
| 84 | 52,779 | 0,1567 | 0,363564 | 3393 |
| 85 | 52,779 | 0,0914 | 0,288278 | 1980 |
| 86 | 52,779 | 0,1488 | 0,355985 | 3223 |
| 87 | 52,779 | 0,0878 | 0,283035 | 1901 |
| 88 | 52,779 | 0,0908 | 0,28736 | 1966 |
| 91 | 53,164 | 0,0949 | 0,29319 | 2071 |
| 92 | 53,164 | 0,1897 | 0,392127 | 4138 |
| 93 | 53,164 | 0,1238 | 0,329387 | 2700 |
| 94 | 53,164 | 0,0694 | 0,254272 | 1515 |
| 95 | 53,164 | 0,1830 | 0,386736 | 3992 |
| 96 | 53,164 | 0,0994 | 0,299239 | 2168 |
| 97 | 53,164 | 0,0883 | 0,283778 | 1926 |
| 98 | 53,164 | 0,1066 | 0,308645 | 2325 |

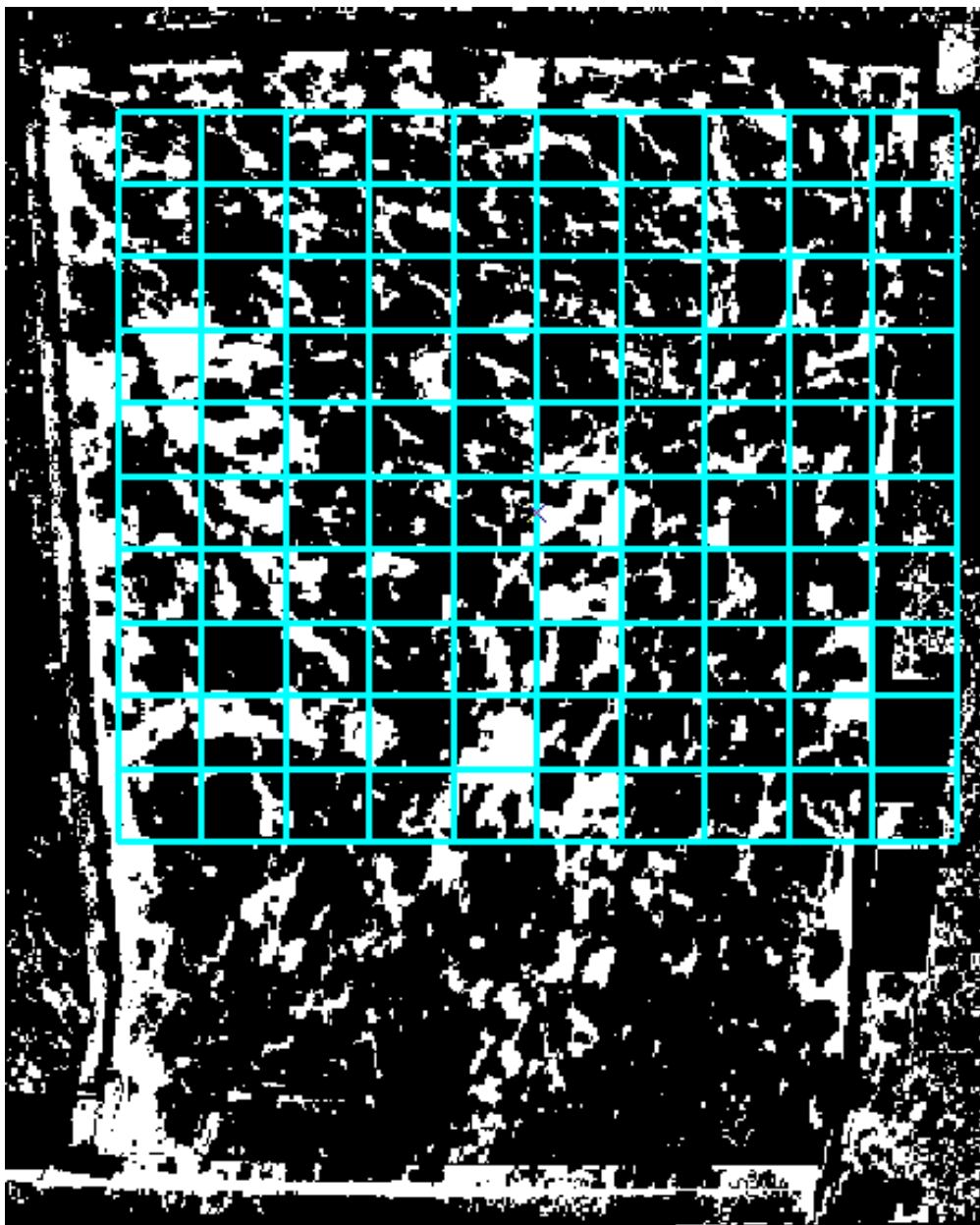
ROTAVATOR FAVOR



| Numeración cuadrados | Área | Media | Desviación típica | Sumatorio |
|-------------------------|---------|----------|----------------------|-----------|
| 1 | 53,2042 | 0,216428 | 0,41181 | 4848 |
| 2 | 53,2042 | 0,165401 | 0,371542 | 3705 |
| 3 | 53,2042 | 0,013794 | 0,116637 | 309 |
| 4 | 53,2042 | 0,09308 | 0,290544 | 2085 |
| 5 | 53,2042 | 0,155535 | 0,362414 | 3484 |
| 6 | 53,2042 | 0,345313 | 0,47547 | 7735 |
| 7 | 53,2042 | 0,270267 | 0,444097 | 6054 |
| 8 | 53,2042 | 0,300624 | 0,45853 | 6734 |
| 9 | 53,2042 | 0,271026 | 0,444489 | 6071 |
| 11 | 53,2042 | 0,154285 | 0,361221 | 3456 |
| 12 | 53,2042 | 0,085669 | 0,279875 | 1919 |
| 13 | 53,2042 | 0,082142 | 0,274581 | 1840 |
| 14 | 53,2042 | 0,102945 | 0,303889 | 2306 |
| 15 | 53,2042 | 0,047098 | 0,211849 | 1055 |
| 16 | 53,2042 | 0,150133 | 0,357203 | 3363 |
| 17 | 53,2042 | 0,159777 | 0,366398 | 3579 |
| 18 | 53,2042 | 0,078437 | 0,268858 | 1757 |
| 19 | 53,2042 | 0,151607 | 0,358639 | 3396 |
| 21 | 52,8241 | 0,08678 | 0,281513 | 1930 |
| 22 | 52,8241 | 0,020503 | 0,141715 | 456 |
| 23 | 52,8241 | 0,091726 | 0,288639 | 2040 |
| 24 | 52,8241 | 0,046672 | 0,210936 | 1038 |
| 25 | 52,8241 | 0,0125 | 0,111101 | 278 |
| 26 | 52,8241 | 0,052113 | 0,222256 | 1159 |
| 27 | 52,8241 | 0,081564 | 0,273699 | 1814 |
| 28 | 52,8241 | 0,02374 | 0,152241 | 528 |
| 29 | 52,8241 | 0,289748 | 0,453644 | 6444 |
| 31 | 53,2042 | 0,049464 | 0,216835 | 1108 |
| 32 | 53,2042 | 0,042276 | 0,20122 | 947 |
| 33 | 53,2042 | 0,065223 | 0,246919 | 1461 |
| 34 | 53,2042 | 0,094821 | 0,292968 | 2124 |
| 35 | 53,2042 | 0,106518 | 0,308499 | 2386 |
| 36 | 53,2042 | 0,057544 | 0,232879 | 1289 |
| 37 | 53,2042 | 0,139195 | 0,34615 | 3118 |
| 38 | 53,2042 | 0,267856 | 0,442842 | 6000 |
| 39 | 53,2042 | 0,710134 | 0,4537 | 15907 |
| 41 | 52,8241 | 0,258767 | 0,437958 | 5755 |
| 42 | 52,8241 | 0,111826 | 0,315151 | 2487 |
| 43 | 52,8241 | 0,10544 | 0,307119 | 2345 |
| 44 | 52,8241 | 0,111195 | 0,314375 | 2473 |
| 45 | 52,8241 | 0,07437 | 0,262373 | 1654 |
| 46 | 52,8241 | 0,163353 | 0,369688 | 3633 |
| 47 | 52,8241 | 0,201033 | 0,400774 | 4471 |
| 48 | 52,8241 | 0,077113 | 0,26677 | 1715 |
| 49 | 52,8241 | 0,172212 | 0,377564 | 3830 |

| | | | | |
|----|---------|----------|----------|-------|
| 51 | 53,2042 | 0,262856 | 0,440185 | 5888 |
| 52 | 53,2042 | 0,651027 | 0,476644 | 14583 |
| 53 | 53,2042 | 0,344954 | 0,475353 | 7727 |
| 54 | 53,2042 | 0,122366 | 0,327708 | 2741 |
| 55 | 53,2042 | 0,196562 | 0,397399 | 4403 |
| 56 | 53,2042 | 0,116786 | 0,321164 | 2616 |
| 57 | 53,2042 | 0,090758 | 0,287265 | 2033 |
| 58 | 53,2042 | 0,238839 | 0,426373 | 5350 |
| 59 | 53,2042 | 0,06125 | 0,239787 | 1372 |
| 61 | 52,8241 | 0,155845 | 0,362708 | 3466 |
| 62 | 52,8241 | 0,477562 | 0,499496 | 10621 |
| 63 | 52,8241 | 0,449281 | 0,49742 | 9992 |
| 64 | 52,8241 | 0,139028 | 0,345977 | 3092 |
| 65 | 52,8241 | 0,169783 | 0,375443 | 3776 |
| 66 | 52,8241 | 0,12554 | 0,33133 | 2792 |
| 67 | 52,8241 | 0,076169 | 0,265267 | 1694 |
| 68 | 52,8241 | 0,152382 | 0,359391 | 3389 |
| 69 | 52,8241 | 0,273921 | 0,445968 | 6092 |
| 71 | 53,2042 | 0,060669 | 0,238722 | 1359 |
| 72 | 53,2042 | 0,13482 | 0,341533 | 3020 |
| 73 | 53,2042 | 0,239911 | 0,427029 | 5374 |
| 74 | 53,2042 | 0,112231 | 0,315652 | 2514 |
| 75 | 53,2042 | 0,205847 | 0,40432 | 4611 |
| 76 | 53,2042 | 0,057187 | 0,2322 | 1281 |
| 77 | 53,2042 | 0,080535 | 0,272121 | 1804 |
| 78 | 53,2042 | 0,022678 | 0,148876 | 508 |
| 79 | 53,2042 | 0,311652 | 0,463167 | 6981 |
| 81 | 52,8241 | 0,299775 | 0,458158 | 6667 |
| 82 | 52,8241 | 0,201799 | 0,401342 | 4488 |
| 83 | 52,8241 | 0,133138 | 0,339724 | 2961 |
| 84 | 52,8241 | 0,054496 | 0,226995 | 1212 |
| 85 | 52,8241 | 0,046672 | 0,210936 | 1038 |
| 86 | 52,8241 | 0,038264 | 0,191834 | 851 |
| 87 | 52,8241 | 0,113984 | 0,317791 | 2535 |
| 88 | 52,8241 | 0,122841 | 0,328254 | 2732 |
| 89 | 52,8241 | 0,25009 | 0,433064 | 5562 |
| 91 | 53,2042 | 0,363213 | 0,480926 | 8136 |
| 92 | 53,2042 | 0,300045 | 0,458276 | 6721 |
| 93 | 53,2042 | 0,122813 | 0,328222 | 2751 |
| 94 | 53,2042 | 0,068883 | 0,253257 | 1543 |
| 95 | 53,2042 | 0,144642 | 0,35174 | 3240 |
| 96 | 53,2042 | 0,137722 | 0,344608 | 3085 |
| 97 | 53,2042 | 0,257723 | 0,43738 | 5773 |
| 98 | 53,2042 | 0,213661 | 0,409889 | 4786 |
| 99 | 53,2042 | 0,278259 | 0,448141 | 6233 |

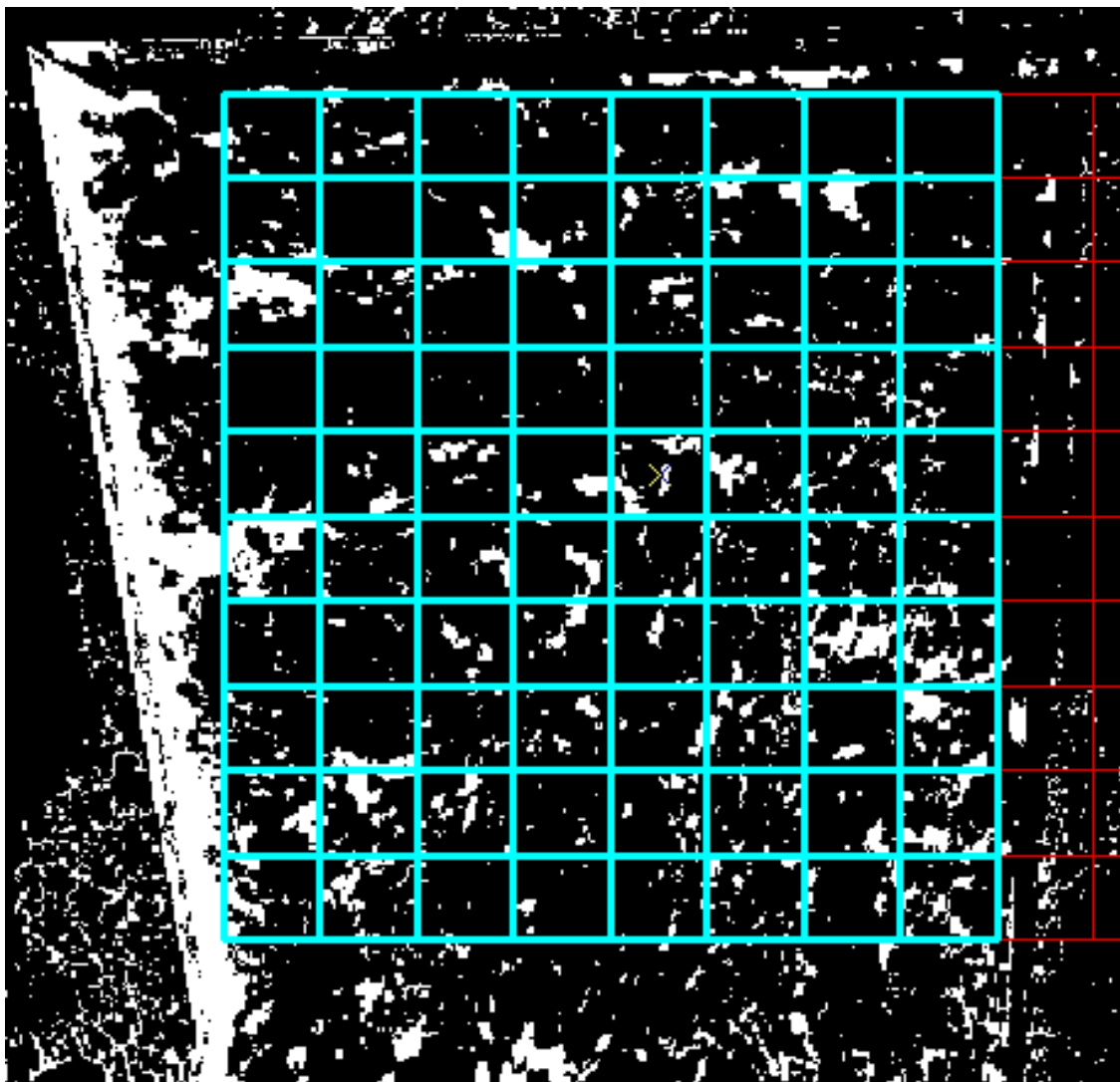
CHISEL-GRADILLA FAVOR



| Numeración cuadros | Área | Media | Desviación típica | Sumatorio |
|--------------------|---------|---------|-------------------|-----------|
| 1 | 53,0573 | 0,26519 | 0,44143 | 3282 |
| 2 | 53,0573 | 0,12904 | 0,33524 | 1597 |
| 3 | 53,0573 | 0,23044 | 0,42111 | 2852 |
| 4 | 53,0573 | 0,19723 | 0,39791 | 2441 |
| 5 | 53,0573 | 0,2601 | 0,43868 | 3219 |
| 6 | 53,0573 | 0,17776 | 0,38231 | 2200 |
| 7 | 53,0573 | 0,11401 | 0,31782 | 1411 |
| 8 | 53,5032 | 0,32972 | 0,47011 | 4115 |
| 9 | 53,0573 | 0,19909 | 0,39932 | 2464 |
| 10 | 53,0573 | 0,33871 | 0,47327 | 4192 |
| 11 | 52,5471 | 0,19931 | 0,39948 | 2443 |
| 12 | 52,5471 | 0,11903 | 0,32382 | 1459 |
| 13 | 52,5471 | 0,23031 | 0,42103 | 2823 |
| 14 | 52,5471 | 0,24426 | 0,42965 | 2994 |
| 15 | 52,5471 | 0,11829 | 0,32296 | 1450 |
| 16 | 52,5471 | 0,14595 | 0,35306 | 1789 |
| 17 | 52,5471 | 0,22925 | 0,42035 | 2810 |
| 18 | 52,9888 | 0,22556 | 0,41795 | 2788 |
| 19 | 52,5471 | 0,13363 | 0,34026 | 1638 |
| 20 | 52,5471 | 0,14359 | 0,35067 | 1760 |
| 21 | 53,0573 | 0,33912 | 0,47341 | 4197 |
| 22 | 53,0573 | 0,20297 | 0,40221 | 2512 |
| 23 | 53,0573 | 0,13243 | 0,33896 | 1639 |
| 24 | 53,0573 | 0,13938 | 0,34634 | 1725 |
| 25 | 53,0573 | 0,16515 | 0,37132 | 2044 |
| 26 | 53,0573 | 0,16136 | 0,36786 | 1997 |
| 27 | 53,0573 | 0,12879 | 0,33497 | 1594 |
| 28 | 53,5032 | 0,18108 | 0,38509 | 2260 |
| 29 | 53,0573 | 0,23084 | 0,42137 | 2857 |
| 30 | 53,0573 | 0,16136 | 0,36786 | 1997 |
| 31 | 53,0573 | 0,65182 | 0,47639 | 8067 |
| 32 | 53,0573 | 0,47584 | 0,49941 | 5889 |
| 33 | 53,0573 | 0,10358 | 0,30472 | 1282 |
| 34 | 53,0573 | 0,29605 | 0,45651 | 3664 |
| 35 | 53,0573 | 0,16580 | 0,37190 | 2052 |
| 36 | 53,0573 | 0,09170 | 0,28861 | 1135 |
| 37 | 53,0573 | 0,24507 | 0,43012 | 3033 |
| 38 | 53,5032 | 0,15969 | 0,36632 | 1993 |
| 39 | 53,0573 | 0,25840 | 0,43775 | 3198 |
| 40 | 53,0573 | 0,07110 | 0,25700 | 880 |
| 41 | 53,0573 | 0,42323 | 0,49407 | 5238 |
| 42 | 53,0573 | 0,50508 | 0,49997 | 6251 |
| 43 | 53,0573 | 0,25153 | 0,43389 | 3113 |
| 44 | 53,0573 | 0,15109 | 0,35814 | 1870 |
| 45 | 53,0573 | 0,24612 | 0,43075 | 3046 |
| 46 | 53,0573 | 0,36918 | 0,48258 | 4569 |
| 47 | 53,0573 | 0,13994 | 0,34693 | 1732 |
| 48 | 53,5032 | 0,26025 | 0,43877 | 3248 |
| 49 | 53,0573 | 0,18891 | 0,39144 | 2338 |
| 50 | 53,0573 | 0,18438 | 0,3878 | 2282 |

| | | | | |
|-----|---------|---------|---------|------|
| 51 | 53,0573 | 0,25985 | 0,43855 | 3216 |
| 52 | 53,0573 | 0,44877 | 0,49736 | 5554 |
| 53 | 53,0573 | 0,14108 | 0,34810 | 1746 |
| 54 | 53,0573 | 0,13825 | 0,34516 | 1711 |
| 55 | 53,0573 | 0,17558 | 0,38046 | 2173 |
| 56 | 53,0573 | 0,58952 | 0,49191 | 7296 |
| 57 | 53,0573 | 0,234 | 0,42337 | 2896 |
| 58 | 53,5032 | 0,15977 | 0,36639 | 1994 |
| 59 | 53,0573 | 0,16515 | 0,37132 | 2044 |
| 60 | 53,0573 | 0,18770 | 0,39047 | 2323 |
| 61 | 53,0573 | 0,32829 | 0,46959 | 4063 |
| 62 | 53,0573 | 0,37855 | 0,48502 | 4685 |
| 63 | 53,0573 | 0,26785 | 0,44284 | 3315 |
| 64 | 53,0573 | 0,19287 | 0,39455 | 2387 |
| 65 | 53,0573 | 0,17525 | 0,38018 | 2169 |
| 66 | 53,0573 | 0,50104 | 0,49999 | 6201 |
| 67 | 53,0573 | 0,18148 | 0,38541 | 2246 |
| 68 | 53,5032 | 0,20232 | 0,40173 | 2525 |
| 69 | 53,0573 | 0,18390 | 0,38740 | 2276 |
| 70 | 53,0573 | 0,19537 | 0,39649 | 2418 |
| 71 | 53,0573 | 0,31771 | 0,46558 | 3932 |
| 72 | 53,0573 | 0,02803 | 0,16508 | 347 |
| 73 | 53,0573 | 0,27674 | 0,44738 | 3425 |
| 74 | 53,0573 | 0,11384 | 0,31762 | 1409 |
| 75 | 53,0573 | 0,36481 | 0,48137 | 4515 |
| 76 | 53,0573 | 0,34106 | 0,47406 | 4221 |
| 77 | 53,0573 | 0,13671 | 0,34354 | 1692 |
| 78 | 53,5032 | 0,10881 | 0,31140 | 1358 |
| 79 | 53,0573 | 0,34801 | 0,47633 | 4307 |
| 80 | 53,0573 | 0,22786 | 0,41945 | 2820 |
| 81 | 52,5471 | 0,52084 | 0,49956 | 6384 |
| 82 | 52,5471 | 0,41763 | 0,49316 | 5119 |
| 83 | 52,5471 | 0,46634 | 0,49886 | 5716 |
| 84 | 52,5471 | 0,19515 | 0,39631 | 2392 |
| 85 | 52,5471 | 0,59215 | 0,49143 | 7258 |
| 86 | 52,5471 | 0,23390 | 0,42331 | 2867 |
| 87 | 52,5471 | 0,17402 | 0,37912 | 2133 |
| 88 | 52,9888 | 0,09910 | 0,29881 | 1225 |
| 89 | 52,5471 | 0,35669 | 0,47902 | 4372 |
| 90 | 52,5471 | 0,02194 | 0,14650 | 269 |
| 91 | 53,0573 | 0,24806 | 0,43188 | 3070 |
| 92 | 53,0573 | 0,17808 | 0,38258 | 2204 |
| 93 | 53,0573 | 0,06342 | 0,24373 | 785 |
| 94 | 53,0573 | 0,23238 | 0,42235 | 2876 |
| 95 | 53,0573 | 0,53498 | 0,49877 | 6621 |
| 96 | 53,0573 | 0,53215 | 0,49896 | 6586 |
| 97 | 53,0573 | 0,07546 | 0,26414 | 934 |
| 98 | 53,5032 | 0,22708 | 0,41894 | 2834 |
| 99 | 53,0573 | 0,18503 | 0,38832 | 2290 |
| 100 | 53,0573 | 0,20289 | 0,40215 | 2511 |

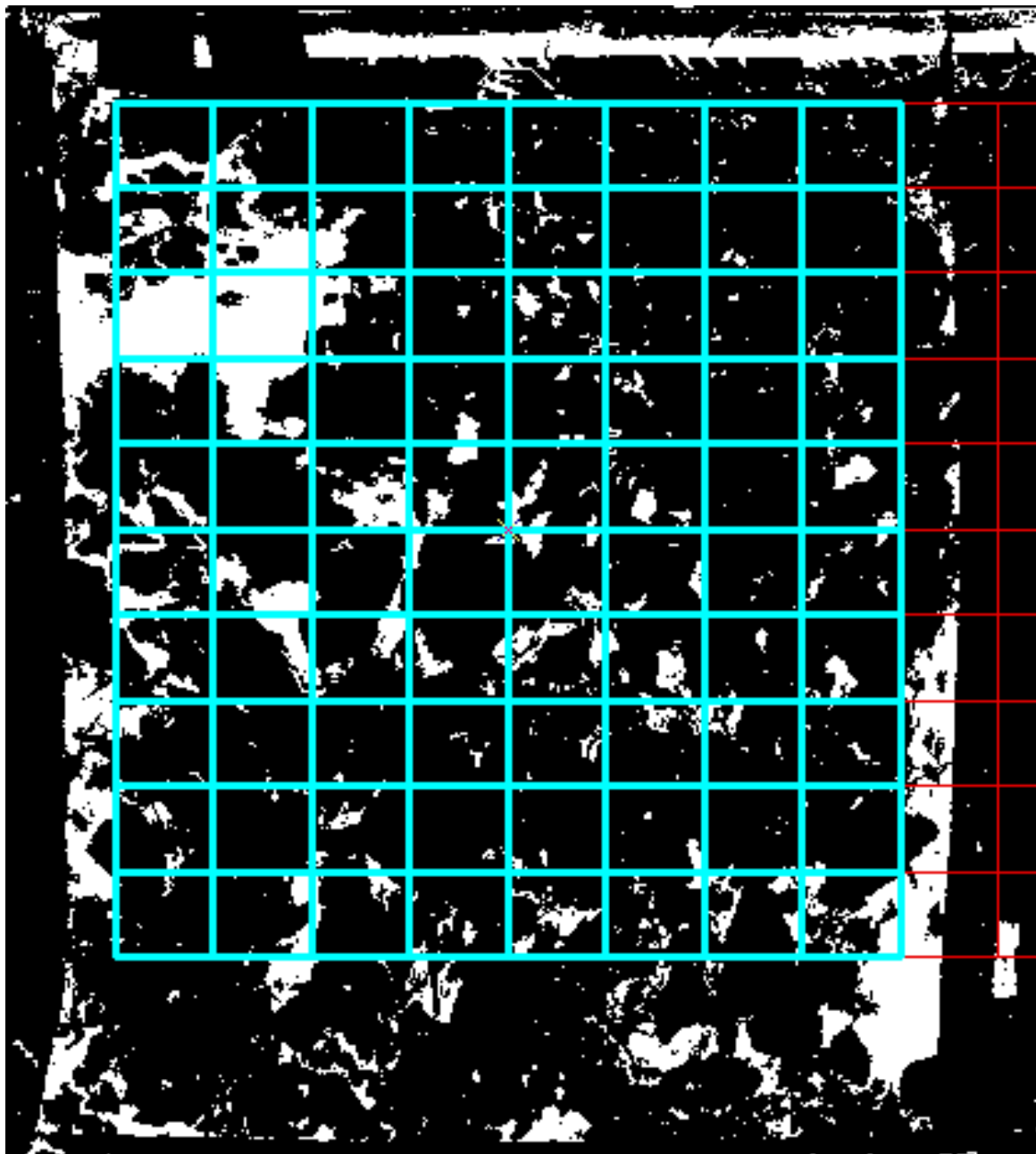
VERTEDERA-MOLÓN CONTRA



| Numeración cuadrados | Área | Media | Desviación típica | Sumatorio |
|----------------------|---------|---------|-------------------|-----------|
| 1 | 53,2294 | 0,05274 | 0,22351 | 731 |
| 2 | 53,2294 | 0,10238 | 0,30314 | 1419 |
| 3 | 53,2294 | 0,01933 | 0,13770 | 268 |
| 4 | 52,8069 | 0,03992 | 0,19578 | 549 |
| 5 | 53,2294 | 0,02987 | 0,17022 | 414 |
| 6 | 53,2294 | 0,06847 | 0,25255 | 949 |
| 7 | 53,2294 | 0,02893 | 0,16761 | 401 |
| 8 | 53,2294 | 0,00555 | 0,07432 | 77 |
| 11 | 52,7454 | 0,08868 | 0,28428 | 1218 |
| 12 | 52,7454 | 0,01077 | 0,10324 | 148 |
| 13 | 52,7454 | 0,09509 | 0,29334 | 1306 |
| 14 | 52,3269 | 0,13533 | 0,34208 | 1844 |
| 15 | 52,7454 | 0,07426 | 0,26220 | 1020 |
| 16 | 52,7454 | 0,14606 | 0,35316 | 2006 |
| 17 | 52,7454 | 0,16673 | 0,37274 | 2290 |
| 18 | 52,7454 | 0,02606 | 0,15933 | 358 |
| 21 | 53,2294 | 0,34458 | 0,47523 | 4776 |
| 22 | 53,2294 | 0,08398 | 0,27736 | 1164 |
| 23 | 53,2294 | 0,04018 | 0,19639 | 557 |
| 24 | 52,8069 | 0,06916 | 0,25373 | 951 |
| 25 | 53,2294 | 0,09148 | 0,28829 | 1268 |
| 26 | 53,2294 | 0,04646 | 0,21048 | 644 |
| 27 | 53,2294 | 0,05072 | 0,21942 | 703 |
| 28 | 53,2294 | 0,03484 | 0,18339 | 483 |
| 31 | 53,2294 | 0,00093 | 0,03061 | 13 |
| 32 | 53,2294 | 0,00324 | 0,05688 | 45 |
| 33 | 53,2294 | 0,01392 | 0,11717 | 193 |
| 34 | 52,8069 | 0,02327 | 0,15076 | 320 |
| 35 | 53,2294 | 0,00815 | 0,08992 | 113 |
| 36 | 53,2294 | 0,04076 | 0,19774 | 565 |
| 37 | 53,2294 | 0,1 | 0,3 | 1386 |
| 38 | 53,2294 | 0,08629 | 0,28079 | 1196 |
| 41 | 52,7454 | 0,06720 | 0,25037 | 923 |
| 42 | 52,7454 | 0,09305 | 0,29050 | 1278 |
| 43 | 52,7454 | 0,10098 | 0,30131 | 1387 |
| 44 | 52,3269 | 0,09842 | 0,29788 | 1341 |
| 45 | 52,7454 | 0,17831 | 0,38277 | 2449 |
| 46 | 52,7454 | 0,13790 | 0,34480 | 1894 |
| 47 | 52,7454 | 0,10761 | 0,30989 | 1478 |
| 48 | 52,7454 | 0,04616 | 0,20983 | 634 |

| | | | | |
|----|---------|---------|---------|------|
| 51 | 53,2294 | 0,46255 | 0,49859 | 6411 |
| 52 | 53,2294 | 0,07734 | 0,26713 | 1072 |
| 53 | 53,2294 | 0,08124 | 0,27320 | 1126 |
| 54 | 52,8069 | 0,11214 | 0,31554 | 1542 |
| 55 | 53,2294 | 0,05432 | 0,22666 | 753 |
| 56 | 53,2294 | 0,05959 | 0,23673 | 826 |
| 57 | 53,2294 | 0,13376 | 0,3404 | 1854 |
| 58 | 53,2294 | 0,10981 | 0,31265 | 1522 |
| 61 | 53,2294 | 0,03232 | 0,17685 | 448 |
| 62 | 53,2294 | 0,03852 | 0,19246 | 534 |
| 63 | 53,2294 | 0,08167 | 0,27386 | 1132 |
| 64 | 52,8069 | 0,10901 | 0,31166 | 1499 |
| 65 | 53,2294 | 0,06060 | 0,23860 | 840 |
| 66 | 53,2294 | 0,09480 | 0,29294 | 1314 |
| 67 | 53,2294 | 0,35137 | 0,47739 | 4870 |
| 68 | 53,2294 | 0,28109 | 0,44953 | 3896 |
| 71 | 53,2294 | 0,08354 | 0,27671 | 1158 |
| 72 | 53,2294 | 0,12683 | 0,33279 | 1758 |
| 73 | 53,2294 | 0,05865 | 0,23498 | 813 |
| 74 | 52,8069 | 0,08596 | 0,28031 | 1182 |
| 75 | 53,2294 | 0,05699 | 0,23183 | 790 |
| 76 | 53,2294 | 0,16356 | 0,36987 | 2267 |
| 77 | 53,2294 | 0,06363 | 0,24410 | 882 |
| 78 | 53,2294 | 0,23455 | 0,42372 | 3251 |
| 81 | 52,7454 | 0,23030 | 0,42102 | 3163 |
| 82 | 52,7454 | 0,22593 | 0,41819 | 3103 |
| 83 | 52,7454 | 0,13710 | 0,34395 | 1883 |
| 84 | 52,3269 | 0,02539 | 0,15731 | 346 |
| 85 | 52,7454 | 0,09873 | 0,29830 | 1356 |
| 86 | 52,7454 | 0,08351 | 0,27665 | 1147 |
| 87 | 52,7454 | 0,08074 | 0,27244 | 1109 |
| 88 | 52,7454 | 0,24574 | 0,43052 | 3375 |
| 91 | 53,2294 | 0,22092 | 0,41486 | 3062 |
| 92 | 53,2294 | 0,18600 | 0,38910 | 2578 |
| 93 | 53,2294 | 0,02893 | 0,16761 | 401 |
| 94 | 52,8069 | 0,03512 | 0,18410 | 483 |
| 95 | 53,2294 | 0,04747 | 0,21265 | 658 |
| 96 | 53,2294 | 0,10793 | 0,31029 | 1496 |
| 97 | 53,2294 | 0,09992 | 0,29990 | 1385 |
| 98 | 53,2294 | 0,15728 | 0,36407 | 2180 |

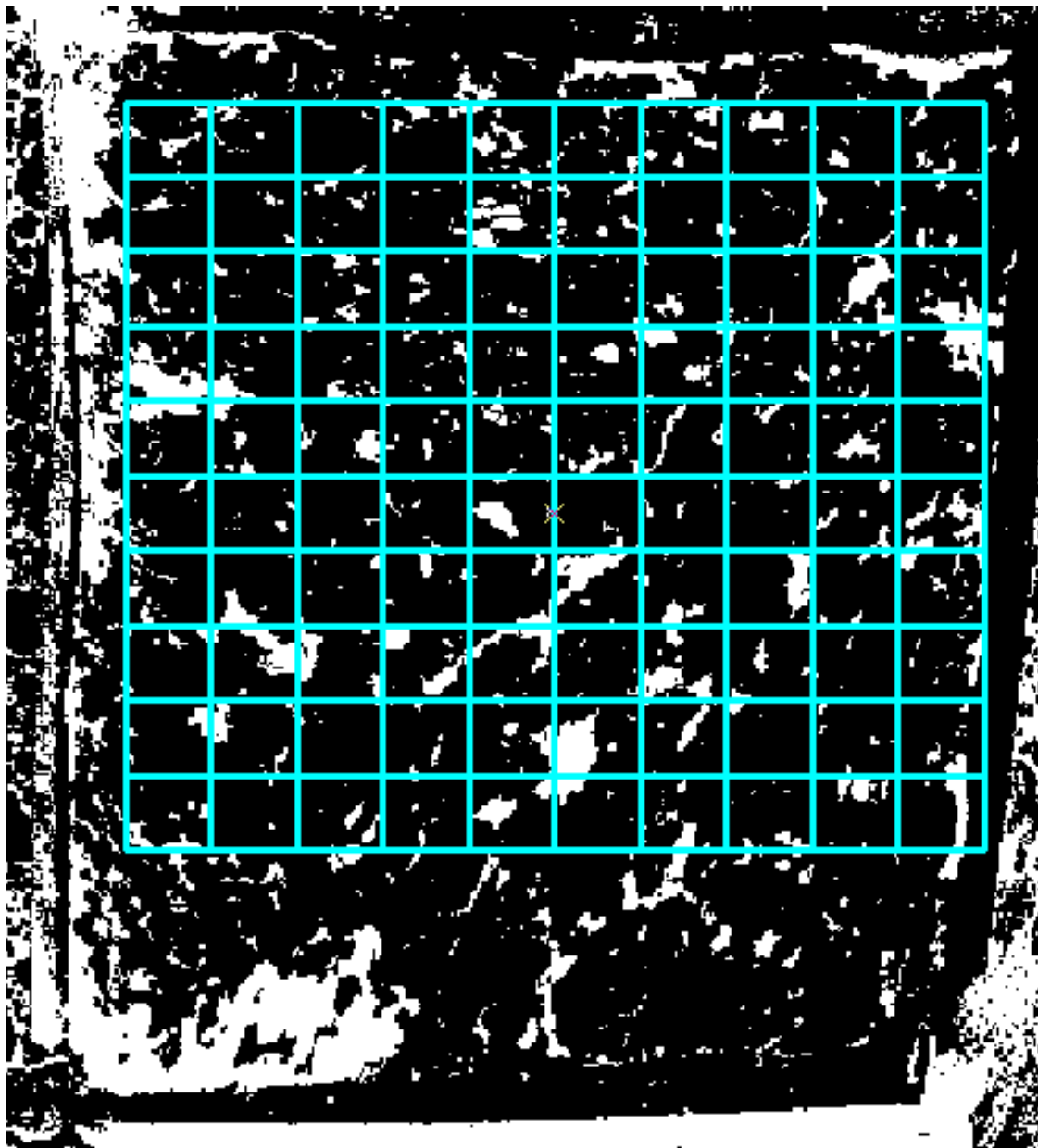
ROTAVATOR CONTRA



| Numeración cuadrados | Área | Media | Desviación típica | Sumatorio |
|----------------------|---------|---------|-------------------|-----------|
| 1 | 53,0157 | 0,19442 | 0,39575 | 4266 |
| 2 | 52,6823 | 0,12511 | 0,33084 | 2728 |
| 3 | 53,0157 | 0,00742 | 0,08586 | 163 |
| 4 | 53,0157 | 0,06895 | 0,25337 | 1513 |
| 5 | 52,6823 | 0,02687 | 0,16171 | 586 |
| 6 | 53,0157 | 0,01531 | 0,12279 | 336 |
| 7 | 53,0157 | 0,02552 | 0,15770 | 560 |
| 8 | 53,0157 | 0,01740 | 0,13079 | 382 |
| 11 | 53,0157 | 0,26497 | 0,44131 | 5814 |
| 12 | 52,6823 | 0,51903 | 0,49963 | 11317 |
| 13 | 53,0157 | 0,19802 | 0,39850 | 4345 |
| 14 | 53,0157 | 0,05095 | 0,2199 | 1118 |
| 15 | 52,6823 | 0,06457 | 0,24577 | 1408 |
| 16 | 53,0157 | 0,00738 | 0,08560 | 162 |
| 17 | 53,0157 | 0,02688 | 0,16175 | 590 |
| 18 | 53,0157 | 0,00701 | 0,08348 | 154 |
| 21 | 53,3998 | 0,88285 | 0,32159 | 19512 |
| 22 | 53,0639 | 0,94290 | 0,23203 | 20708 |
| 23 | 53,3998 | 0,25075 | 0,43344 | 5542 |
| 24 | 53,3998 | 0,01936 | 0,13780 | 428 |
| 25 | 53,0639 | 0,13450 | 0,34119 | 2954 |
| 26 | 53,3998 | 0,02651 | 0,16065 | 586 |
| 27 | 53,3998 | 0,01687 | 0,12881 | 373 |
| 28 | 53,3998 | 0,03131 | 0,17415 | 692 |
| 31 | 53,0157 | 0,15654 | 0,36337 | 3435 |
| 32 | 52,6823 | 0,53398 | 0,49884 | 11643 |
| 33 | 53,0157 | 0,02255 | 0,14849 | 495 |
| 34 | 53,0157 | 0,07136 | 0,25744 | 1566 |
| 35 | 52,6823 | 0,03788 | 0,19091 | 826 |
| 36 | 53,0157 | 0,04657 | 0,21073 | 1022 |
| 37 | 53,0157 | 0,01285 | 0,11263 | 282 |
| 38 | 53,0157 | 0,06252 | 0,24211 | 1372 |
| 41 | 53,0157 | 0,18416 | 0,38762 | 4041 |
| 42 | 52,6823 | 0,02536 | 0,15722 | 553 |
| 43 | 53,0157 | 0,33132 | 0,47069 | 7270 |
| 44 | 53,0157 | 0,15039 | 0,35745 | 3300 |
| 45 | 52,6823 | 0,13795 | 0,34485 | 3008 |
| 46 | 53,0157 | 0,10345 | 0,30455 | 2270 |
| 47 | 53,0157 | 0,00510 | 0,07126 | 112 |
| 48 | 53,0157 | 0,13727 | 0,34413 | 3012 |

| | | | | |
|----|---------|---------|---------|------|
| 51 | 53,3998 | 0,26216 | 0,43980 | 5794 |
| 52 | 53,0639 | 0,29250 | 0,45491 | 6424 |
| 53 | 53,3998 | 0,07203 | 0,25854 | 1592 |
| 54 | 53,3998 | 0,06710 | 0,25019 | 1483 |
| 55 | 53,0639 | 0,12612 | 0,33199 | 2770 |
| 56 | 53,3998 | 0,06764 | 0,25113 | 1495 |
| 57 | 53,3998 | 0,01918 | 0,13717 | 424 |
| 58 | 53,3998 | 0,05746 | 0,23272 | 1270 |
| 61 | 53,0157 | 0,18849 | 0,39110 | 4136 |
| 62 | 52,6823 | 0,19092 | 0,39303 | 4163 |
| 63 | 53,0157 | 0,17213 | 0,37749 | 3777 |
| 64 | 53,0157 | 0,12469 | 0,33037 | 2736 |
| 65 | 52,6823 | 0,20111 | 0,40083 | 4385 |
| 66 | 53,0157 | 0,16119 | 0,36771 | 3537 |
| 67 | 53,0157 | 0,02939 | 0,16891 | 645 |
| 68 | 53,0157 | 0,09078 | 0,28730 | 1992 |
| 71 | 53,0157 | 0,11047 | 0,31347 | 2424 |
| 72 | 52,6823 | 0,01119 | 0,10519 | 244 |
| 73 | 53,0157 | 0,01481 | 0,12079 | 325 |
| 74 | 53,0157 | 0,02265 | 0,14878 | 497 |
| 75 | 52,6823 | 0,03769 | 0,19046 | 822 |
| 76 | 53,0157 | 0,09324 | 0,29077 | 2046 |
| 77 | 53,0157 | 0,09210 | 0,28917 | 2021 |
| 78 | 53,0157 | 0,03240 | 0,17707 | 711 |
| 81 | 53,3998 | 0,09592 | 0,29448 | 2120 |
| 82 | 53,0639 | 0,01643 | 0,12715 | 361 |
| 83 | 53,3998 | 0,09931 | 0,29908 | 2195 |
| 84 | 53,3998 | 0,01058 | 0,10235 | 234 |
| 85 | 53,0639 | 0,02663 | 0,16101 | 585 |
| 86 | 53,3998 | 0,04470 | 0,20665 | 988 |
| 87 | 53,3998 | 0,01895 | 0,13637 | 419 |
| 88 | 53,3998 | 0,03013 | 0,17095 | 666 |
| 91 | 53,0157 | 0,03222 | 0,17658 | 707 |
| 92 | 52,6823 | 0,14428 | 0,35137 | 3146 |
| 93 | 53,0157 | 0,12004 | 0,32501 | 2634 |
| 94 | 53,0157 | 0,06234 | 0,24178 | 1368 |
| 95 | 52,6823 | 0,16065 | 0,36721 | 3503 |
| 96 | 53,0157 | 0,08522 | 0,27921 | 1870 |
| 97 | 53,0157 | 0,17623 | 0,38102 | 3867 |
| 98 | 53,0157 | 0,34554 | 0,47554 | 7582 |

CHISEL-GRADILLA CONTRA



| Numeración cuadrados | Área | Media | Desviación típica | Sumatorio |
|----------------------|---------|---------|-------------------|-----------|
| 1 | 53,2206 | 0,09923 | 0,29897 | 1306 |
| 2 | 53,2206 | 0,06587 | 0,24806 | 867 |
| 3 | 52,7881 | 0,03102 | 0,17338 | 405 |
| 4 | 53,2206 | 0,09839 | 0,29785 | 1295 |
| 5 | 53,2206 | 0,16890 | 0,37467 | 2223 |
| 6 | 52,7881 | 0,07354 | 0,26102 | 960 |
| 7 | 53,2206 | 0,12461 | 0,33027 | 1640 |
| 8 | 53,2206 | 0,08836 | 0,28382 | 1163 |
| 9 | 52,7881 | 0,04297 | 0,20280 | 561 |
| 10 | 53,2206 | 0,06883 | 0,25318 | 906 |
| 11 | 53,2206 | 0,04543 | 0,20826 | 598 |
| 12 | 53,2206 | 0,02545 | 0,15749 | 335 |
| 13 | 52,7881 | 0,07246 | 0,25926 | 946 |
| 14 | 53,2206 | 0,01952 | 0,13836 | 257 |
| 15 | 53,2206 | 0,22718 | 0,41901 | 2990 |
| 16 | 52,7881 | 0,10502 | 0,30658 | 1371 |
| 17 | 53,2206 | 0,03008 | 0,17083 | 396 |
| 18 | 53,2206 | 0,04832 | 0,21445 | 636 |
| 19 | 52,7881 | 0,06572 | 0,24780 | 858 |
| 20 | 53,2206 | 0,05941 | 0,23640 | 782 |
| 21 | 53,2206 | 0,07469 | 0,26289 | 983 |
| 22 | 53,2206 | 0,03723 | 0,18932 | 490 |
| 23 | 52,7881 | 0,12463 | 0,33030 | 1627 |
| 24 | 53,2206 | 0,04710 | 0,21187 | 620 |
| 25 | 53,2206 | 0,05409 | 0,22621 | 712 |
| 26 | 52,7881 | 0,02267 | 0,14886 | 296 |
| 27 | 53,2206 | 0,09133 | 0,28807 | 1202 |
| 28 | 53,2206 | 0,03092 | 0,17311 | 407 |
| 29 | 52,7881 | 0,25386 | 0,43522 | 3314 |
| 30 | 53,2206 | 0,17734 | 0,38195 | 2334 |
| 31 | 53,2206 | 0,38652 | 0,48695 | 5087 |
| 32 | 53,2206 | 0,12233 | 0,32766 | 1610 |
| 33 | 52,7881 | 0,07315 | 0,26039 | 955 |
| 34 | 53,2206 | 0,05280 | 0,22364 | 695 |
| 35 | 53,2206 | 0,03274 | 0,17797 | 431 |
| 36 | 52,7881 | 0,08786 | 0,2831 | 1147 |
| 37 | 53,2206 | 0,15530 | 0,36219 | 2044 |
| 38 | 53,2206 | 0,05972 | 0,23697 | 786 |
| 39 | 52,7881 | 0,07675 | 0,26620 | 1002 |
| 40 | 53,2206 | 0,21784 | 0,41277 | 2867 |
| 41 | 53,2206 | 0,17339 | 0,37858 | 2282 |
| 42 | 53,2206 | 0,10196 | 0,30260 | 1342 |
| 43 | 52,7881 | 0,12815 | 0,33426 | 1673 |
| 44 | 53,2206 | 0,05979 | 0,23711 | 787 |
| 45 | 53,2206 | 0,06542 | 0,24726 | 861 |
| 46 | 52,7881 | 0,09828 | 0,29769 | 1283 |
| 47 | 53,2206 | 0,08661 | 0,28127 | 1140 |
| 48 | 53,2206 | 0,04391 | 0,20491 | 578 |
| 49 | 52,7881 | 0,09805 | 0,29738 | 1280 |
| 50 | 53,2206 | 0,01664 | 0,12791 | 219 |

| | | | | |
|-----|---------|---------|---------|------|
| 51 | 53,2206 | 0,05402 | 0,22606 | 711 |
| 52 | 53,2206 | 0,03639 | 0,18727 | 479 |
| 53 | 52,7881 | 0,01225 | 0,11003 | 160 |
| 54 | 53,2206 | 0,02621 | 0,15977 | 345 |
| 55 | 53,2206 | 0,13973 | 0,34670 | 1839 |
| 56 | 52,7881 | 0,03094 | 0,17317 | 404 |
| 57 | 53,2206 | 0,01975 | 0,13915 | 260 |
| 58 | 53,2206 | 0,03168 | 0,17515 | 417 |
| 59 | 52,7881 | 0,08426 | 0,27778 | 1100 |
| 60 | 53,2206 | 0,23463 | 0,42376 | 3088 |
| 61 | 53,2206 | 0,07902 | 0,26977 | 1040 |
| 62 | 53,2206 | 0,11807 | 0,32269 | 1554 |
| 63 | 52,7881 | 0,03018 | 0,17108 | 394 |
| 64 | 53,2206 | 0,06656 | 0,24925 | 876 |
| 65 | 53,2206 | 0,08821 | 0,28360 | 1161 |
| 66 | 52,7881 | 0,25141 | 0,43382 | 3282 |
| 67 | 53,2206 | 0,09543 | 0,29381 | 1256 |
| 68 | 53,2206 | 0,15743 | 0,36421 | 2072 |
| 69 | 52,7881 | 0,05017 | 0,21830 | 655 |
| 70 | 53,2206 | 0,11594 | 0,32016 | 1526 |
| 71 | 53,2206 | 0,05668 | 0,23123 | 746 |
| 72 | 53,2206 | 0,23622 | 0,42476 | 3109 |
| 73 | 52,7881 | 0,16891 | 0,37467 | 2205 |
| 74 | 53,2206 | 0,18478 | 0,38812 | 2432 |
| 75 | 53,2206 | 0,18729 | 0,39014 | 2465 |
| 76 | 52,7881 | 0,03271 | 0,17787 | 427 |
| 77 | 53,2206 | 0,22179 | 0,41545 | 2919 |
| 78 | 53,2206 | 0,06754 | 0,25096 | 889 |
| 79 | 52,7881 | 0,01440 | 0,11913 | 188 |
| 80 | 53,2206 | 0,08031 | 0,27177 | 1057 |
| 81 | 53,2206 | 0,07560 | 0,26436 | 995 |
| 82 | 53,2206 | 0,10827 | 0,31072 | 1425 |
| 83 | 52,7881 | 0,01892 | 0,13624 | 247 |
| 84 | 53,2206 | 0,04027 | 0,19659 | 530 |
| 85 | 53,2206 | 0,11101 | 0,31414 | 1461 |
| 86 | 52,7881 | 0,32327 | 0,46772 | 4220 |
| 87 | 53,2206 | 0,08525 | 0,27925 | 1122 |
| 88 | 53,2206 | 0,03366 | 0,18035 | 443 |
| 89 | 52,7881 | 0,03263 | 0,17767 | 426 |
| 90 | 53,2206 | 0,08479 | 0,27857 | 1116 |
| 91 | 53,2206 | 0,11830 | 0,32296 | 1557 |
| 92 | 53,2206 | 0,00881 | 0,09346 | 116 |
| 93 | 52,7881 | 0,06955 | 0,25439 | 908 |
| 94 | 53,2206 | 0,02613 | 0,15954 | 344 |
| 95 | 53,2206 | 0,16602 | 0,37209 | 2185 |
| 96 | 52,7881 | 0,09590 | 0,29446 | 1252 |
| 97 | 53,2206 | 0,09991 | 0,29988 | 1315 |
| 98 | 53,2206 | 0,05577 | 0,22947 | 734 |
| 99 | 52,7881 | 0,10058 | 0,30077 | 1313 |
| 100 | 53,2206 | 0,13152 | 0,33797 | 1731 |

